

ALEXANDRE MÜLLER

**EFEITOS DE SÍLICA ATIVA E DE LÁTEX POLÍMERO
EVLC SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE ARGAMASSAS
DE ASSENTAMENTO**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa
Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do
título de mestre em Engenharia.**

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Philippe Gleize

Florianópolis

1999

MÜLLER, Alexandre. Efeitos de sílica ativa e de látex polímero EVLC sobre as características de argamassas de assentamento. Florianópolis, 1999. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Philippe Gleize

Defesa: 30/03/99

Estuda-se os efeitos da utilização de sílica ativa e de látex polímero EVLC sobre a microestrutura e as propriedades físicas e mecânicas de argamassas de assentamento. Fez-se análise microestrutural com microscópio eletrônico de varredura e ensaios de caracterização física e mecânica: índice de consistência, densidade de massa, retenção de água, resistências à compressão e à tração, módulo de deformação, coeficiente de Poisson e absorção de água. Busca-se desenvolver argamassas de assentamento com propriedades modificadas e avaliar a influência destas sobre o comportamento mecânico de prismas não-grauteados de blocos de concreto. Dá-se ênfase à análise da influência das propriedades modificadas das argamassas sobre a resistência última e o fator de eficiência da alvenaria, interpretando-a em função da compatibilidade entre a unidade e a junta.

Palavras-chave: Adições minerais e orgânicas; Argamassas de assentamento; Características.

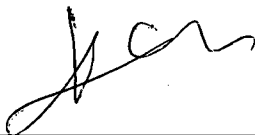
EFEITOS DE SÍLICA ATIVA E DE LÁTEX POLÍMERO EVLC SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

ALEXANDRE MÜLLER

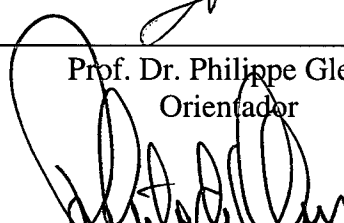
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade ENGENHARIA CIVIL, área de concentração CONSTRUÇÃO
CIVIL, aprovada em sua forma final pelo Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Civil



Prof. Dr. Philippe Gleize
Orientador



Prof. Dr. Roberto de Oliveira
Coordenador do Curso

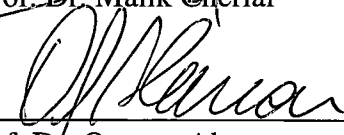
Banca Examinadora:



Prof. PhD. Humberto Ramos Roman



Prof. Dr. Malik Cheriaf



Prof. Dr. Orestes Alarcon

*Aos meus pais, meus avós, minha esposa e meu filho,
Com carinho.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Philippe Gleize, pela orientação e apoio durante o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Prof. Humberto Roman, pelas sugestões e esclarecimentos ao longo da execução deste trabalho, e a correção do mesmo.

Ao Prof. Malik Cheriaf e ao Prof. Orestes E. Alarcon, pelo exame desta dissertação.

À indústria Itambé, pela doação do cimento utilizado na produção das argamassas.

À Camargo Côrrea, pela doação da sílica ativa.

À empresa Tecno-cola, pelo envio do látex polímero cloro-laurato de vinila etileno.

À Blocaus Pré-fabricados, pelo fornecimento dos blocos de concreto.

Aos meus pais Lúcio e Haidi e meus avós Edvino e Edi, pela dedicação e confiança durante todos esses anos.

Ao meu irmão Daniel, pelo incentivo e companheirismo.

À minha esposa Luciana e meu filho Alexandre Jr., pela tranquilidade de nosso lar.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil, Renato e Luiz.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	xi
Resumo	xiv
Abstract	xvi

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1. Introdução.	1
1.2. Objetivo geral.	5
1.3. Objetivos específicos.	5
1.4. Hipóteses.	6
1.5. Estrutura do trabalho.	7

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Alvenaria Estrutural.	8
2.1.1. Edificações em Alvenaria Estrutural.	8
2.1.2. Resistência à compressão da alvenaria.	10
2.1.3. Ruptura da alvenaria.	15
2.1.4. Influência do comportamento mecânico do conjunto unidade/argamassa sobre a resistência à compressão da alvenaria.	17
2.2. Argamassas de assentamento.	20
2.2.1. Argamassa mista de cimento e cal.	20
2.2.2. Microestrutura de argamassas mistas de cimento e cal.	21
2.2.3. Funções das argamassas de assentamento.	23
2.2.4. Principais propriedades das argamassas de assentamento no estado fresco.	23
2.2.4.1. Trabalhabilidade.	23
2.2.4.2. Massa específica aparente (densidade de massa) e teor de ar.	25
2.2.4.3. Retenção de água.	26
2.2.5. Principais propriedades das argamassas de assentamento no estado endurecido.	27

2.2.5.1. Aderência.	27
2.2.5.2. Resiliência.	29
2.2.5.3. Resistência mecânica.	30
2.2.5.4. Permeabilidade.	31
2.2.5.5. Estabilidade volumétrica.	32
2.3. Adições em argamassas.	33
2.3.1. Utilização de sílica ativa em argamassas simples de cimento Portland.	33
2.3.2. Adição de látex polímero em argamassas simples de cimento Portland.	36
2.3.2.1. Definições.	36
2.3.2.2. Argamassas modificadas com látex polímero.	37
2.3.2.3. Reações de hidratação.	40
2.3.2.3. Propriedades de argamassas modificadas com polímero no estado fresco.	42
2.3.2.4. Propriedades de argamassas com látex polímeros no estado endurecido.	43

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

3.1. Materiais utilizados.	47
3.2. Conversão do traço de argamassa.	57
3.3. Produção das argamassas.	58
3.4. Execução dos prismas.	62
3.5. Ensaio com as argamassas.	62
3.6. Ensaio com prismas de alvenaria.	65

CAPÍTULO 4: APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa.	67
4.1.1. Resultados da análise microestrutural com microscópio eletrônico de varredura (MEV), aos 28 dias.	67
4.1.2. Resultados dos ensaios com a argamassa no estado fresco.	80
4.1.2.1. Trabalhabilidade - Índice de consistência.	80

4.1.2.2. Densidade de massa.	81
4.1.2.3. Retenção de água.	82
4.1.3. Resultados dos ensaios com a argamassa no estado endurecido.	83
4.1.3.1. Resistência à compressão.	83
4.1.3.2. Resistência à tração.	84
4.1.3.3. Módulo de deformação.	85
4.1.3.4. Coeficiente de Poisson.	87
4.1.3.5. Absorção por imersão.	88
4.2. Argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC).	89
4.2.1. Resultados da análise microestrutural com microscópio eletrônico de varredura (MEV), aos 28 dias.	89
4.2.2. Resultados dos ensaios com as argamassas no estado fresco.	99
4.2.2.1. Trabalhabilidade - Índice de consistência.	99
4.2.2.2. Densidade de massa.	101
4.2.2.3. Retenção de água.	102
4.2.3. Resultados dos ensaios com as argamassas no estado endurecido.	105
4.2.3.1. Resistência à compressão.	105
4.2.3.2. Resistência à tração.	107
4.2.3.3. Módulo de deformação.	109
4.2.3.4. Coeficiente de Poisson.	113
4.2.3.5. Absorção por imersão.	114
4.3. Resultados dos ensaios com prismas.	117
4.3.1. Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas.	117
4.3.2. Fator de Eficiência da alvenaria.	120
4.3.3. Tipos de ruptura.	122

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5. Conclusões.	125
5.1. Análise microestrutural e ensaios das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa.	125

5.2. Análise microestrutural e ensaios das argamassas com adição de látex polímero EVLC.	127
5.3. Ensaios com prismas de blocos de concreto.	132
5.4. Recomendações para trabalhos futuros.	133

CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referências Bibliográficas.	135
-----------------------------	-----

ANEXOS

Anexo A	141
Anexo B	148
Anexo C	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Critério de Lenczner - compatibilidade de deformações entre a unidade de alvenaria e a argamassa [Fonte: Gomes (1983)].	16
Figura 3.1. Comparação entre a composição granulométrica da areia utilizada e os limites granulométricos estabelecidos pela norma BS 1200 (1976).	51
Figura 3.2. Posição dos LVDTs e dos strain gauges nos corpos-de-prova.	65
Figura 3.3. Bases de medida nos prismas de alvenaria.	66
Figura 4.1. Visão geral da argamassa de referência, aos 28 dias.	68
Figura 4.2. Pasta de aglomerante na argamassa de referência, aos 28 dias.	68
Figura 4.3. Pasta de aglomerante na argamassa de referência, aos 28 dias.	69
Figura 4.4. Análise EDAX do C-S-H tipo II (zona A da figura 4.3 - $\text{Ca/Si} \cong 3$) na pasta da argamassa de referência, aos 28 dias.	69
Figura 4.5. Análise EDAX do C-S-H tipo III (zona B da figura 4.3 - $\text{Ca/Si} \cong 2,8$) na pasta da argamassa de referência, aos 28 dias.	70
Figura 4.6. Interface pasta-agregado na argamassa de referência, aos 28 dias.	70
Figura 4.7. Análise EDAX da pasta próxima à interface com o agregado na argamassa de referência, aos 28 dias.	71
Figura 4.8. Análise EDAX da superfície de um poro na argamassa de referência, aos 28 dias ($\text{Ca/Si} \cong 2,5$).	71
Figura 4.9. Visão geral da argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.	72
Figura 4.10. Pasta na argamassa com substituição de 10% de cimento por sílica ativa, aos 28 dias.	72
Figura 4.11. Pasta de aglomerante na argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.	73
Figura 4.12. Análise EDAX do C-S-H tipo III (zona A da figura 4.11) na pasta da argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.	73
Figura 4.13. Interface pasta de aglomerante-agregado na argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.	74
Figura 4.14. Análise EDAX da pasta na região próxima ao agregado ($\text{Ca/Si} \cong 2,5$) para a argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.	74
Figura 4.15. Visão geral da argamassa com substituição de 20% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.	75

Figura 4.16. Pasta de aglomerante na argamassa com substituição de 20% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.	76
Figura 4.17. Análise EDAX da pasta de aglomerante na argamassa com substituição de 20% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.	76
Figura 4.18. Interface pasta de aglomerante-agregado na argamassa com substituição de 20% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.	77
Figura 4.19. Análise EDAX da pasta próxima à interface com o agregado na argamassa com substituição de 20% de cimento por sílica ativa, aos 28 dias.	77
Figura 4.20. Curva tensão x deformação das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	86
Figura 4.21. Visão geral da argamassa de referência, aos 28 dias.	89
Figura 4.22. Pasta de aglomerante na argamassa de referência, aos 28 dias.	90
Figura 4.23. EDAX do C-S-H tipo II (zona A da figura 4.22) na pasta da argamassa de referência, aos 28 dias.	90
Figura 4.24. EDAX das placas de Ca(OH)_2 (zona B da figura 4.22) na pasta da argamassa de referência, aos 28 dias.	91
Figura 4.25. Interface pasta-agregado na argamassa de referência, aos 28 dias.	91
Figura 4.26. EDAX da pasta próxima à interface com o agregado na argamassa de referência, aos 28 dias.	92
Figura 4.27. Visão geral da argamassa com adição de 2,5% de látex polímero, aos 28 dias.	92
Figura 4.28. Pasta na argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero, aos 28 dias.	93
Figura 4.29. EDAX da pasta (zona A da figura 4.28) da argamassa com adição de 2,5% de látex polímero, aos 28 dias.	93
Figura 4.30. Interface pasta-agregado na argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero, aos 28 dias.	94
Figura 4.31. EDAX de um poro da argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero, aos 28 dias.	94
Figura 4.32. Visão geral da argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.	95
Figura 4.33. Pasta na argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.	96
Figura 4.34. Análise EDAX da pasta (zona A da figura 4.33) na argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.	96
Figura 4.35. Interface pasta-agregado na argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.	97
Figura 4.36. Análise EDAX da pasta próxima a interface com o agregado na argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.	97

- Figura 4.37. EDAX da pasta de C-S-H na superfície de um poro da argamassa com adição de 5 % de látex polímero aos 28 dias. 98
- Figura 4.38. Curva tensão x deformação das argamassas com adição de látex polímero EVLC - fator a/c = 1,85. 110
- Figura 4.39. Curva tensão x deformação das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm. 112
- Figura 4.40. Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de concreto moldados com a argamassa de referência S0. 118
- Figura 4.41. Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de concreto moldados utilizando a argamassa com 20% de sílica ativa (S2). 119
- Figura 4.42. Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de concreto moldados utilizando a argamassa com adição de 5 % de EVLC (P2). 119
- Figura 4.43. Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de concreto moldados utilizando a argamassa com adição de 5 % de EVLC (P5). 120
- Figura 4.44. Tipo de ruptura de prismas moldados com a argamassa de referência S0. 122
- Figura 4.45. Tipo de ruptura de prismas moldados utilizando a argamassa com 20% de sílica ativa (S2). 123
- Figura 4.46. Tipo de ruptura de prismas moldados utilizando a argamassa com 5% de látex polímero EVLC (P2). 123
- Figura 4.47. Tipo de ruptura de prismas moldados utilizando a argamassa com 5 % de látex polímero EVLC (P5). 124

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Resistência característica à compressão da alvenaria de blocos vazados - proporção altura/menor dimensão horizontal entre 2 e 4.[Fonte BS 5628: Part 1 (1992)]	10
Tabela 2.2. Resistência das argamassas adotadas pela BS 5628: part 1(1992).	11
Tabela 2.3. Valores de resistência à compressão de prismas de alvenaria obtidos nos estudos de HAMID et al. (1979).	12
Tabela 2.4. Valores de resistência à compressão de prismas de alvenaria obtidos nos estudos de KHALAF et al. (1996).	13
Tabela 2.5. Fatores de eficiência obtidos nos estudos de ALY et al. (1994).	13
Tabela 2.6. Fatores de eficiência obtidos nos estudos de MOHAMAD (1998).	14
Tabela 2.7. Resultados de resistência à compressão de prismas de alvenaria obtidos nos estudos de HAMID et al. (1979).	17
Tabela 2.8. Resultados dos estudos de KHALAF et al. (1992) para a resistência à compressão de prismas de alvenaria.	18
Tabela 2.9. Polímeros e monômeros utilizados em argamassas modificadas com polímero [Fonte: OHAMA (1984)].	38
Tabela 2.10. Látex para utilização em argamassas modificadas com polímero [Fonte: OHAMA (1984)].	40
Tabela 2.11. Resistência mecânica de argamassas modificadas com polímero [Fonte: OKADA et al. (1982) in CHANDRA et al. (1994)].	44
Tabela 3.1. Caracterização física do cimento Portland.	48
Tabela 3.2. Caracterização química do cimento Portland.	48
Tabela 3.3. Caracterização física da cal hidratada.	49
Tabela 3.4. Caracterização química da cal hidratada.	50
Tabela 3.5. Composição granulométrica da areia utilizada - NBR 7217 (1987).	51
Tabela 3.6. Caracterização física da areia utilizada.	52
Tabela 3.7. Limites de impurezas para agregado miúdo.	52
Tabela 3.8. Caracterização físico-química da sílica ativa.	53
Tabela 3.9. Caracterização físico-química do látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC).	54
Tabela 3.10. Tolerâncias máximas de fabricação para os blocos de concreto.	55
Tabela 3.11. Dimensões dos blocos de concreto.	55
Tabela 3.12. Características físicas dos blocos de concreto.	55
Tabela 3.13. Características mecânicas dos blocos de concreto.	56

Tabela 3.14. Módulo de elasticidade dos blocos de concreto (equação 3.1).	56
Tabela 3.15. Argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa - Fator água/cimento constante.	60
Tabela 3.16. Argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno - fator água/cimento constante.	61
Tabela 3.17. Argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno - índice de consistência constante.	61
Tabela 3.18. Quantidade de prismas executados para cada tipo de argamassa.	62
Tabela 4.1. Relações Ca/Si do C-S-H em três zonas das argamassas.	78
Tabela 4.2. Valores de índice de consistência para as argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa - fator a/c = 1,85.	80
Tabela 4.3. Valores de densidade de massa para as argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa - fator a/c = 1,85.	81
Tabela 4.4. Valores de retenção de água de argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa - fator a/c = 1,85.	82
Tabela 4.5. Valores de resistência à compressão para as argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	83
Tabela 4.6. Valores de resistência à tração por compressão diametral para as argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	84
Tabela 4.7. Módulo de deformação tangente das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	85
Tabela 4.8. Módulo de deformação secante das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	86
Tabela 4.9. Coeficiente de Poison das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	87
Tabela 4.10. Absorção por imersão das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator água/cimento = 1,85.	88
Tabela 4.11. Valores de índice de consistência para as argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno - fator a/c = 1,85.	99
Tabela 4.12. Comparação entre fatores água/cimento de argamassas com adição de látex polímero e argamassa de referência S0 - Índice de consistência = 255 ± 10 mm.	100
Tabela 4.13. Valores de densidade de massa para as argamassas com adição de látex polímero EVLC - fator a/c = 1,85.	101
Tabela 4.14. Densidade de massa de argamassas com adição de látex polímero e argamassa de referência S0 - Índice de consistência = 255 ± 10 mm.	102

Tabela 4.15. Valores de retenção de água para a argamassa com adição de látex polímero cloreto/laurato de vinila etileno (EVLC) - fator a/c = 1,85.	103
Tabela 4.16. Retenção de água de argamassas com adição de látex polímero EVLC e argamassa de referência S0 - Índice de consistência = 255 ± 10 mm.	104
Tabela 4.17. Valores de resistência à compressão para as argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	105
Tabela 4.18. Resistência à compressão de argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm.	106
Tabela 4.19. Valores de resistência à tração para as argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno - fator a/c = 1,85.	107
Tabela 4.20. Resistência à tração de argamassas com adição de látex polímero e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm.	108
Tabela 4.21. Módulo de deformação tangente das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	109
Tabela 4.22. Módulo de deformação secante das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	109
Tabela 4.23. Módulo de deformação tangente das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm.	111
Tabela 4.24. Módulo de deformação secante das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm.	111
Tabela 4.25. Coeficiente de Poisson das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	113
Tabela 4.26. Coeficiente de Poisson das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm.	114
Tabela 4.27. Absorção por imersão das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.	115
Tabela 4.28. Absorção por imersão das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm.	116
Tabela 4.29. Resistência à compressão na área bruta e módulo de elasticidade secante dos prismas de alvenaria.	117
Tabela 4.30. Fator de eficiência dos prismas moldados com diferentes tipos de argamassa.	121

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi estudar os efeitos da utilização de sílica ativa e látex polímero EVLC sobre a microestrutura e as propriedades físicas e mecânicas de argamassas de assentamento. Buscou-se desenvolver argamassas de assentamento com propriedades modificadas e avaliar a influência destas sobre o comportamento mecânico de prismas não-grauteados de blocos de concreto. Foi dada ênfase à análise da influência das propriedades modificadas das argamassas sobre a resistência última e fator de eficiência da alvenaria, interpretando-a em função da compatibilidade entre a unidade e a junta.

Em argamassas com sílica ativa ocorre a formação dos C-S-H tipos I, II e III, e pequenas quantidades de hidróxido de cálcio, aos 28 dias. Para um fator a/c constante, há uma redução significativa da trabalhabilidade e um aumento significativo da retenção de água, resistência à compressão e estanqueidade. Há tendência de aumento da densidade de massa, resistência à tração e módulo de deformação.

Em argamassas com EVLC, a microestrutura apresenta porosidade substancial. Há formação dos tipos I, II e III de C-S-H, além de placas de Ca(OH)_2 . A visualização do filme de polímero é difícil. Para um mesmo fator a/c, a densidade de massa, resistências à compressão e à tração, módulo de deformação tangente e estanqueidade diminuem significativamente. Há tendência de aumento do índice de consistência e de redução da retenção de água e do módulo de deformação secante. O coeficiente de Poisson não difere significativamente.

Para um mesmo índice de consistência, há uma redução da quantidade de água necessária. A densidade de massa, resistência à compressão, módulos de deformação e estanqueidade apresentam uma tendência de redução. As argamassas com EVLC apresentam retenção de água, resistência à tração e coeficiente de Poisson equiparáveis às argamassas usuais.

A utilização de argamassas de assentamento modificadas com sílica ativa e látex polímero EVLC não influi significativamente sobre a resistência à compressão e o fator de eficiência de prismas de blocos de concreto. As relações E_a/E_b não são substancialmente diferentes. Não há diferenças representativas entre o módulo de elasticidade e as curvas tensão x deformação dos prismas. A forma de ruptura é a mesma para todos os prismas.

ABSTRACT

The aim of this work was to study the effects of silica fume and latex polymer EVLC on microstructure and physical and mechanical properties of masonry mortars. It was looked for to develop masonry mortars with modified properties and to evaluate these influence on mechanical behavior of un-grouted structural concrete blockwork. Emphasis was given to influence analysis of mortar's modified properties on ultimate stress and efficiency of masonry, interpreting it in function of compatibility between unit and mortar joint.

In mortars with silica fume, C-S-H types I, II and III forms, and small quantity of calcium hidroxide. For a constant w/c factor, there are a significant reduction of workability and a significant increase of water retention, compressive strength and watertightness. Bulk density, tensile strength and Young's modulus have tendency to increase.

In mortars with EVLC, microstructure shows substantial porosity. There are formation of C-S-H types I, II and III, besides plates of Ca(OH)_2 . Polymer film visualization is difficult. For a same factor w/c, bulk density, tensile and compressive strength, tangent Young's modulus and watertightness decrease significantly. There is tendency of increase consistency index and decrease of water retention and secant Young's modulus. Poison's ratio doesn't differ significantly.

For a same consistency index, there is a reduction of necessary water amount. Bulk density, compressive strength, Young's moduli and water absorption presents a reduction tendency. Mortars with EVLC presents water retention, tensile strength and Poisson's ratio comparable to usual mortars.

Silica fume or latex polymer EVLC modified masonry mortars do not influence significantly on compressive strength and efficiency of concrete blocks prisms. Em/Eb ratio is not substantially different. There are not representative differences between Young's modulus and curves stress x strain of prisms. Rupture form is equal for all prisms.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. Introdução.

Na Construção Civil empregam-se variados materiais e sistemas construtivos a fim de alcançar-se o objetivo final: edificações. Ao longo das últimas quatro décadas, verificou-se um aumento substancial na utilização da alvenaria estrutural, por ser um sistema construtivo racionalizado e cujos componentes básicos são industrializados. A alvenaria estrutural apresenta-se como uma alternativa viável para a diminuição do déficit habitacional brasileiro.

Após a década de 50, ocorreu um desenvolvimento técnico-científico significativo do sistema construtivo em alvenaria estrutural, decorrente de pesquisas em várias partes do mundo.

A alvenaria estrutural apresenta um comportamento estrutural complexo, devido às características mecânicas próprias e distintas dos materiais que a constituem. Além disso, a qualidade na execução das paredes de alvenaria exerce influência significativa sobre seu desempenho.

Na alvenaria estrutural não-grauteada, as unidades de alvenaria (tijolos ou blocos) e a argamassa apresentam características intrínsecas e comportamentos diferenciados, assim como as solicitações atuantes e suas funções em uma parede de alvenaria estrutural são distintas.

A função das unidades de alvenaria é resistir aos esforços de compressão. Propiciam, ainda, isolamento térmico e acústico aos ambientes.

A junta de argamassa tem como funções principais unir as unidades de

alvenaria, distribuir uniformemente as cargas atuantes, absorver as deformações e selar as juntas. A resistência da argamassa apresenta influência sobre o desempenho da alvenaria. Os valores adotados pela BS 5628: Part 1 (1992) demonstram que quanto maior a resistência da unidade mais sensível é a resistência da alvenaria à variação na resistência da argamassa.

Restam inúmeras dúvidas sobre o comportamento do conjunto unidade de alvenaria/junta de argamassa. Até hoje, não se obteve um modelo que explicasse adequadamente a ruptura da alvenaria quando submetida à compressão.

Os critérios de ruptura da alvenaria de LENCZNER e de HILDSDORF in GOMES (1983) baseiam-se nas diferenças entre o comportamento mecânico da unidade de alvenaria (tijolo/bloco) e da junta (argamassa de assentamento).

Segundo estudos de autores como HAMID et al. (1979), KHALAF (1996) e MOHAMAD (1998), a relação entre os módulos de elasticidade da argamassa e da unidade influi significativamente sobre a resistência e o tipo de ruptura de prismas não-grauteados de blocos de concreto. As tensões de compressão por confinamento que originam-se na junta e as tensões de tração que surgem na unidade relacionam-se à aderência unidade/argamassa e à deformabilidade da argamassa.

Autores como BOULT (1979) sugerem que o estabelecimento das deformações características combinadas da unidade e da argamassa pode ser mais efetivo no aumento da resistência da alvenaria do que o simples aumento das resistências individuais.

O desempenho da alvenaria estrutural não-grauteada pode ser maximizado através da compatibilização entre os elementos envolvidos, ou seja, unidade de alvenaria e argamassa. Para se obter a compatibilidade entre a unidade e a argamassa torna-se necessário o conhecimento das propriedades dos materiais e do comportamento físico e mecânico da alvenaria em regime de trabalho.

O conhecimento adequado das propriedades mecânicas da alvenaria permite que sejam construídas edificações seguras e econômicas. A utilização do pleno potencial da alvenaria estrutural depende do perfeito conhecimento das propriedades dos componentes (unidades e argamassa) e do modo adequado de seu uso.

Em alvenaria estrutural, considera-se fator de eficiência da alvenaria como sendo a razão entre a resistência à compressão da alvenaria e a resistência à compressão da unidade. As diferenças entre o comportamento mecânico da unidade e da junta seriam uma explicação plausível para os baixos fatores de eficiência verificados em alvenarias, sobretudo para níveis elevados de resistência das unidades.

Desta forma, o estudo e o aperfeiçoamento das propriedades físicas e mecânicas das unidades e da argamassa pode resultar em um comportamento adequado do conjunto unidade/junta e, conseqüentemente, em fatores de eficiência mais elevados.

Obtendo-se aumento substancial do fator de eficiência da alvenaria, ou seja, da resistência última à compressão da parede, pode-se reduzir a área líquida da unidade necessária para um dado carregamento. Além disso, um aumento no fator de eficiência da alvenaria representa um aproveitamento mais adequado da matéria-prima e energia utilizados na confecção das unidades e da argamassa.

Em materiais à base de cimento Portland como as argamassas mistas de cimento e cal, através do controle do processo de produção (utilizando-se adições, variando-se o fator água/cimento,...) pode-se controlar a evolução da microestrutura e, conseqüentemente, das propriedades físicas e mecânicas. Assim, alterando a formulação da argamassa através de adições pode-se obter uma nova microestrutura, que conduza à propriedades modificadas para o material.

Este trabalho busca estudar os efeitos da utilização de novos materiais sobre a microestrutura e propriedades físicas e mecânicas de argamassas de assentamento, com o intuito de desenvolver argamassas com propriedades modificadas e avaliar seus efeitos sobre o comportamento mecânico da alvenaria, interpretando-os em termos da compatibilidade entre a unidade e a junta.

Assim, pretende-se analisar a influência da utilização das argamassas com propriedades mecânicas modificadas sobre o comportamento mecânico de prismas não-grauteados de blocos de concreto, avaliando sobretudo a resistência última e o fator de eficiência da alvenaria.

Conhecendo-se a influência de determinada propriedade mecânica modificada da argamassa sobre a resistência última da alvenaria, pode-se contribuir para que em

estudos posteriores desenvolva-se um modelo que explique adequadamente a ruptura da alvenaria.

Além disso, estudos acerca da utilização de novos materiais em argamassas mistas de cimento e cal podem representar diminuição de custos, ao reduzir a quantidade de aglomerante necessária por exemplo, ou efeitos benéficos em outras propriedades físicas das argamassas (retenção de água, absorção,...) que possibilitem outras aplicações em engenharia civil.

A tecnologia de utilização de sílica ativa e látex polímeros em argamassas simples de cimento Portland, empregadas em concreto, já é estabelecida. Assim, desenvolver-se a tecnologia de utilização de sílica ativa e látex polímero em argamassas mistas de cimento e cal parece ser uma concepção correta.

As argamassas de assentamento não apresentaram evolução tecnológica significativa nas últimas décadas, apesar de sua utilização ser extremamente difundida em praticamente todas as obras de construção civil.

De modo geral, a argamassa de assentamento não é considerada na mesma proporção de sua importância, principalmente em paredes de alvenaria estrutural. A pouca atenção dispensada às argamassas de assentamento parece ser decorrente, principalmente, do desconhecimento das funções desempenhadas e das características necessárias para o material.

Tais descuidos com a tecnologia de argamassas de assentamento apresentam como resultado patologias frequentes em paredes de alvenaria estrutural, de maior ou menor importância, exigindo muitas vezes reparos onerosos.

1.2. Objetivo geral.

O objetivo principal do presente trabalho foi estudar os efeitos da utilização de sílica ativa e látex polímero EVLC sobre a microestrutura e propriedades físicas e mecânicas de argamassas de assentamento, buscando desenvolver argamassas com propriedades modificadas e avaliar a influência destas sobre o comportamento mecânico de prismas não-grauteados de blocos de concreto. Buscou-se, enfaticamente, analisar a influência das propriedades modificadas das argamassas sobre a resistência última e fator de eficiência da alvenaria, interpretando-a em função da compatibilidade entre a unidade e a junta.

1.3. Objetivos específicos:

Os objetivos específicos do presente estudo foram:

- Analisar a microestrutura de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural com substituição de cimento Portland por sílica ativa e adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC);
- Verificar a influência da substituição de cimento Portland por sílica ativa e adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno sobre as propriedades físicas de argamassas de assentamento tais como índice de consistência, densidade de massa, retenção de água e absorção.
- Estudar os efeitos da substituição de cimento Portland por sílica ativa e adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno sobre as propriedades mecânicas das argamassas de assentamento, sobretudo resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson;
- Verificar o comportamento mecânico de prismas de alvenaria moldados

utilizando argamassas com sílica ativa e argamassas com látex polímero EVLC, avaliando propriedades tais como resistência última à compressão e módulo de elasticidade, bem como o tipo de ruptura.

- Analisar a influência da utilização de argamassas modificadas com sílica ativa ou látex polímero EVLC sobre o fator de eficiência de prismas de blocos de concreto, em termos da compatibilidade de comportamento mecânico entre a unidade e a junta.

- Contribuir para estudos posteriores que busquem o desenvolvimento de um modelo de ruptura adequado para a alvenaria, ao possibilitar a verificação da influência de determinada propriedade das argamassas modificadas sobre a resistência última da alvenaria.

1.4. Hipóteses.

As hipótese consideradas no presente estudo são:

- Considerando-se o critério de LENCZNER in GOMES (1983), a unidade e a argamassa quando submetidos à compressão desenvolvem deformações transversais diferentes, em ângulos retos, originando um estado triaxial de compressão na argamassa e tensões de tração na unidade. Quanto mais diferenciados mecanicamente forem os materiais, maiores os níveis de tensão que surgirão.

- A compatibilidade entre o comportamento mecânico da unidade e da argamassa pode ser mais efetiva no aumento da resistência da alvenaria que o simples aumento da resistência à compressão destes, influenciando, assim, sobre o fator de eficiência da alvenaria estrutural.

- A utilização de adições minerais e orgânicas em argamassas de assentamento resultam em propriedades mecânicas modificadas, possibilitando uma análise da influência destas sobre o comportamento mecânico da alvenaria, interpretando-a em função da compatibilidade do conjunto unidade/argamassa;

1.5. Estrutura do trabalho.

A apresentação deste trabalho está estruturada em 5 capítulos.

No capítulo 1 descreve-se as justificativas, os objetivos geral e específicos, e as hipóteses do estudo em questão.

No capítulo 2 apresenta-se revisão bibliográfica sobre o comportamento da alvenaria estrutural não-grauteada de blocos de concreto submetida à compressão, enfocando o comportamento mecânico das unidades de alvenaria e da argamassa. Apresenta-se, ainda, as principais funções e propriedades das argamassas de assentamento em paredes de alvenaria, bem como os efeitos da utilização de sílica ativa e látex polímero em argamassas simples de cimento Portland.

O capítulo 3 apresenta a metodologia adotada para realização do programa experimental. São apresentados a caracterização dos materiais utilizados, a conversão dos traços, os procedimentos de produção das argamassas, a execução dos prismas e os métodos de ensaio empregados para argamassas e prismas.

O capítulo 4 apresenta os resultados da análise microestrutural com microscópio eletrônico de varredura (MEV) e dos ensaios das argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa e com adição de látex polímero EVLC, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. São apresentados e analisados, ainda, os resultados dos ensaios com prismas de alvenaria.

No capítulo 5 mostra-se as conclusões, recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Alvenaria Estrutural

2.1.1. Edificações em Alvenaria Estrutural

A utilização de paredes como elementos portantes do carregamento da edificação não é recente. As pirâmides construídas no Egito em alvenaria estrutural de pedra são exemplos de quão antigo é este sistema construtivo.

O advento das estruturas em concreto armado, observado entre os anos de 1900 a 1960, fez com que a alvenaria estrutural fosse relegada a segundo plano. As causas principais para o declínio da alvenaria estrutural foram a utilização da regra do tombamento no dimensionamento das edificações e a falta de pesquisas, que acarretavam fatores de segurança altos e consequentemente custos elevados.

MENDES (1998) relata que uma nova metodologia de dimensionamento foi desenvolvida e colocada em prática em 1951, construindo-se um prédio de 13 andares. Nesta metodologia a estabilidade do prédio quanto às cargas laterais oriundas do vento era obtida através de paredes de contraventamento. Tais paredes possibilitaram a redução da espessura das demais paredes estruturais e, portanto, dos custos das edificações em alvenaria estrutural.

Este procedimento de cálculo com paredes de contraventamento desencadeou estudos para determinar adequadamente os efeitos da pressão lateral de vento, da

excentricidade do carregamento e demais fatores sobre o comportamento da alvenaria estrutural.

No Brasil, ao longo das últimas quatro décadas, verificou-se um aumento substancial na utilização do sistema construtivo em alvenaria estrutural. A alvenaria estrutural tornou-se uma opção atrativa frente às edificações convencionais estruturadas em concreto ou aço, por ser um sistema construtivo racionalizado e cujos componentes básicos são industrializados.

No sistema construtivo em alvenaria estrutural as paredes têm funções tanto de vedação como estrutural. A análise de paredes em alvenaria estrutural é complexa visto que diversos esforços atuam sobre estas, além de serem constituídas por materiais com características diferentes, ou seja, as unidades de alvenaria e a argamassa de assentamento.

O projeto em alvenaria estrutural requer um entendimento adequado sobre o comportamento das paredes sob várias condições de tensão. Primariamente, as paredes de alvenaria são elementos de sustentação de cargas verticais, nos quais a resistência à compressão é o principal fator de projeto. Contudo, as paredes são frequentemente submetidas a cargas de cisalhamento e pressão lateral pelo vento, e, portanto, a resistência da alvenaria ao cisalhamento e flexão deve também ser considerada.

Os fatores que afetam a resistência à compressão de elementos de alvenaria (paredes e pilares) podem ser divididos em dois grupos. No primeiro grupo estão os fatores relacionados com a resistência básica da alvenaria, e que incluem as características físicas e mecânicas dos materiais empregados e a técnica construtiva utilizada na construção.

- Resistência à compressão do tijolo/bloco;
- Geometria da unidade;
- Resistência à compressão da argamassa;
- Deformação característica da unidade de alvenaria e da argamassa;
- Espessura da junta;

- Taxa de sucção inicial da unidade;
- Retentividade de água da argamassa;
- Qualidade da mão-de-obra;
- Condições de cura.

No segundo grupo encontram-se os fatores decorrentes da concepção do elemento de alvenaria, como por exemplo, taxa de esbeltez, excentricidade do carregamento, etc.

2.1.2. Resistência à compressão da alvenaria.

A Tabela 2.1 mostra os valores adotados pela BS 5628: Part 1 (1992) para a resistência característica à compressão da alvenaria construída com blocos vazados, para uma proporção entre a altura e a menor dimensão horizontal entre 2,0 e 4,0.

Tabela 2.1. Resistência característica à compressão da alvenaria de blocos vazados - proporção altura/menor dimensão horizontal entre 2 e 4. [Fonte: BS 5628: Part 1 (1992)]

Resistência do bloco (MPa)	Designação da argamassa			
	i	ii	iii	iv
5	5	5	5	4,4
10	6,1	5,7	5,5	4,9
20	7,5	6,5	5,9	5,3
35	11,4	9,4	8,5	7,3

A resistência à compressão das argamassas adotadas pela norma BS 5628: Part 1 (1992) é mostrada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Resistência das argamassas adotadas pela BS 5628: part 1(1992)

Designação	Traço em volume	Resistência à compressão (MPa)	
		Laboratório	"In situ"
i	1:0 à 0,25:3	16	11
ii	1:0,5:4 à 4,5	6,5	4,5
iii	1:1:5 à 6	3,6	2,5
iv	1:2:8 à 9	1,5	1,0

Segundo a BS 5628: Part 1 (1992), a resistência à compressão da alvenaria é determinada principalmente pela resistência à compressão das unidades. A resistência da alvenaria torna-se mais sensível à variação na resistência à compressão da argamassa quando a resistência da unidade aumenta.

No código europeu EUROCODE 6 (1996) apresenta-se uma fórmula (equação 2.1) para determinação da resistência característica à compressão da alvenaria. Nesta equação, a resistência à compressão da argamassa contribui significativamente menos para a resistência última da alvenaria do que a resistência da unidade.

$$F_k = k \cdot f_b^{0,65} \cdot f_a^{0,25} \quad (2.1)$$

Sendo: f_a = resistência média à compressão da argamassa;

f_b = resistência média à compressão da unidade de alvenaria;

K , α e β são coeficientes;

$$K = 0,4 \cdot \varphi$$

$$\text{Para } f_b > 15 \text{ N/mm}^2, \varphi = (15/f_b)^{0,33} \leq 1,5$$

$$\blacktriangleright \text{ Para } f_b \leq 15 \text{ N/mm}^2, \varphi = 1$$

Em alvenaria estrutural, considera-se fator de eficiência como sendo a razão entre a resistência à compressão da alvenaria e a resistência à compressão da unidade, conforme mostrado na equação 2.2.

$$FE = f_{alv} / f_b \quad (2.2)$$

Onde: FE = fator de eficiência da alvenaria;

f_{alv} = resistência à compressão da alvenaria;

f_b = resistência à compressão da unidade de alvenaria;

HAMID et al. (1979), em seus estudos buscando desenvolver um modelo para previsão da resistência da alvenaria, variaram o tipo de argamassa e mantiveram constante o tipo de bloco. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Valores de resistência à compressão de prismas de alvenaria obtidos nos estudos de HAMID et al. (1979).

Resistência do bloco na área líquida (MPa)	Resistência da argamassa (MPa)	Resistência do prisma na área líquida (MPa)	Fator de eficiência
20	5,7	15,4	0,77
20	14,7	16,4	0,82
20	18,2	16,3	0,82

KHALAF (1996) estudou o comportamento mecânico de prismas de blocos de concreto grauteados e não-grauteados. Para tanto, utilizou um tipo de bloco e três tipos de argamassas, obtendo os valores de resistência à compressão dos prismas mostrados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4. Valores de resistência à compressão de prismas de alvenaria obtidos nos estudos de KHALAF (1996).

Resistência do bloco na área líquida (MPa)	Resistência da argamassa (MPa)	Resistência do prisma na área líquida (MPa)	Fator de eficiência
24,3	9,2	17,8	0,73
24,3	15,4	17,4	0,72
24,3	26,5	21,4	0,88

ALY et al. (1994) avaliaram em seus estudos o comportamento mecânico de prismas, paredinhas e paredes, moldados utilizando blocos de concreto com três níveis de resistência à compressão e um tipo de argamassa. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5. Fatores de eficiência obtidos nos estudos de ALY et al. (1994)

Resistência à compressão do bloco (MPa)	Fator de eficiência do prisma*	Fator de eficiência da paredinha	Fator de eficiência da parede
7,9	0,81	0,67	0,65
10,6	0,88	0,71	0,60
13,2	0,74	0,49	0,62

* Os prismas foram moldados com apenas uma junta vertical.

MOHAMAD (1998) estudou o comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto. Para tanto, utilizou dois tipos de blocos e quatro traços de argamassa, obtendo os fatores de eficiência mostrados na tabela 2.6.

Tabela 2.6. Fatores de eficiência obtidos nos estudos de MOHAMAD (1998).

Traço de argamassa	Bloco com resistência à compressão de 10,7 MPa	Bloco com resistência à compressão de 15,7 MPa
1:0,25:3	1,0	0,75
1:0,5:4,5	0,82	0,69
1:1:6	0,77	0,56
1:2:9	0,71	-

OLIVEIRA et al. (1994) obtiveram fatores de eficiência entre 0,6 a 0,9, para blocos vazados de concreto fabricados com dosagem dos componentes em peso e cura dos blocos à vapor; e eficiência de 0,4 a 0,7, para os mesmos blocos confeccionados sem tais cuidados. Segundo o autor, os fatores que influenciaram no fator de eficiência foram: qualidade e uniformidade dos blocos; espessura e quantidade das juntas horizontais e qualidade da mão-de-obra.

De acordo com os valores estabelecidos pela BS 5628: Part 1 (1992) e resultados de autores como HAMID et al. (1979), KHALAF (1996), ALY et al. (1994) e MOHAMAD (1998), entre outros, constata-se que a resistência à compressão da alvenaria é determinada principalmente pela resistência à compressão das unidades de alvenaria, baseando-se em um princípio de superposição de resistência dos materiais. Variações na resistência à compressão da argamassa influencia mais significativamente a resistência da alvenaria quando a resistência das unidades é maior.

Além disso, verifica-se que o aumento da resistência da alvenaria torna-se menos significativo a medida em que se aumenta a resistência da unidade, para uma mesma resistência da argamassa.

Tal comportamento alcança um ponto em que, independentemente da resistência da unidade, não se observa mais aumento na resistência da parede. Portanto, constata-se uma diminuição do fator de eficiência da alvenaria com o aumento da resistência das unidades, para uma mesma resistência da argamassa.

2.1.3. Ruptura da alvenaria.

Os modos de ruptura de prismas não-grauteados, segundo CHEEMA et al. (1986) são:

- tração na unidade, onde a tensão de tração principal na unidade supera a resistência à tração da unidade;
- esmagamento da unidade, onde a tensão principal de compressão na unidade supera a resistência à compressão da unidade;
- esmagamento da argamassa, onde a tensão de compressão axial na argamassa é maior que a resistência da argamassa confinada.

Segundo MOHAMAD (1998), a ruptura da alvenaria de blocos de concreto vazados pode ocorrer devido a um dos seguintes fatores:

- esmagamento da argamassa;
- tração na argamassa;
- tração no bloco;

O referido autor afirma que as formas de ruptura constatadas sugerem que a resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto não-grauteados depende das características mecânicas do bloco e da argamassa.

O mecanismo de ruptura da alvenaria submetida à compressão axial pode ser explicado pelo critério de Lenczner in GOMES (1983). O princípio deste critério é a compatibilidade de deformações entre a unidade de alvenaria e a argamassa, ou seja, as deformações laterais dos materiais com ausência de aderência e com uma união perfeita entre estes. A figura 2.1 ilustra o princípio do critério de Lenczner.

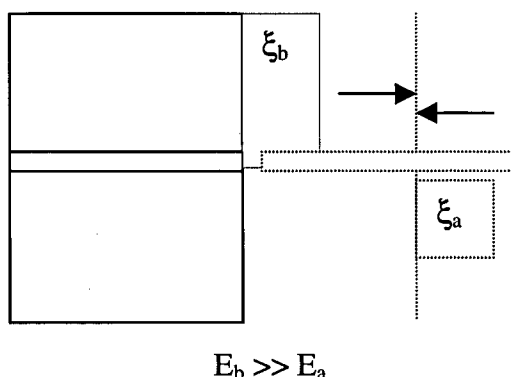


Figura 2.1. Critério de Lenczner - compatibilidade de deformações entre a unidade de alvenaria e a argamassa. [Fonte: GOMES (1983)]

Através de uma análise elástica da alvenaria, constata-se que tanto a unidade quanto a argamassa, quando submetidos à compressão, desenvolvem deformações transversais em ângulos retos. Como as propriedades elásticas dos materiais são diferentes, as deformações transversais serão diferentes. A argamassa apresenta geralmente um módulo de elasticidade menor, sendo mais deformável que a unidade de alvenaria.

Este comportamento origina um estado de tensões triaxiais de compressão na argamassa e tensões de tração na unidade. Quanto mais diferenciados forem estes dois materiais em relação ao módulo de elasticidade, maiores os níveis de tensão de tração na unidade e de compressão na argamassa, supondo-se uma união perfeita entre os materiais.

2.1.4. Influência do comportamento mecânico do conjunto unidade/argamassa sobre a resistência à compressão da alvenaria.

BOULT (1979) realizou estudos com prismas de blocos de concreto, buscando otimizar os resultados de resistência à compressão através de combinações de blocos e argamassas com propriedades mecânicas diferentes. O autor relata que os resultados de resistência última da alvenaria mostram-se de modo geral melhores quando a unidade e a argamassa apresentam módulos de elasticidade e deformações similares. Ou seja, através da compatibilidade de deformações entre unidade e argamassa pode-se obter aumento mais efetivo da resistência da alvenaria do que o simples aumento das resistências individuais.

Os resultados de HAMID et al. (1979) mostram que a resistência última dos prismas de alvenaria de blocos de concreto não difere significativamente para relações entre o módulo de elasticidade da argamassa e do bloco (E_a/E_b) iguais a 0,56 e 0,71. Contudo, para uma relação entre os módulos de elasticidade dos materiais de 0,21, a resistência dos prismas de alvenaria mostrou-se distinta dos demais resultados. Os valores de resistência à compressão dos prismas de alvenaria obtidos nos estudos de HAMID et al. (1979) são mostrados na tabela 2.7.

Tabela 2.7. Resultados de resistência à compressão de prismas de alvenaria obtidos nos estudos de HAMID et al. (1979).

Resistência do bloco na área líquida (MPa)	Resistência da argamassa (MPa)	Relação E_a/E_b	Resistência do prisma na área líquida (MPa)
20	5,7	0,21	15,4
20	14,7	0,56	16,4
20	18,2	0,7	16,3

KHALAF et al. (1996) estudaram a influência de diferentes relações entre os módulos de elasticidade do bloco e da argamassa sobre a resistência à compressão de prismas de alvenaria. A tabela 2.8 mostra os resultados de seus estudos.

Tabela 2.8. Resultados dos estudos de KHALAF et al. (1996) para a resistência à compressão de prismas de alvenaria.

Resistência do bloco na área líquida (MPa)	Resistência argamassa (MPa)	Coefficiente de Poisson argamassa	Relação E_a/E_b	Relação de rigidez - $(\nu_a/E_a)/(\nu_b/E_b)$	Resistência do prisma na área líquida (MPa)
24,3	9,2	0,40	0,29	5,5	17,8
24,3	15,4	0,35	0,54	2,6	17,4
24,3	26,5	0,25	0,74	1,35	21,4

Os autores constataram que não há diferença significativa entre os valores de resistência dos prismas ao variar-se as relações entre os módulos de elasticidade do bloco e da argamassa. A justificativa para tais resultados poderia ser a ocorrência de resistências similares entre a unidade e a argamassa, devido ao fato que os ensaios não conseguem reproduzir o estado real de tensões que ocorre na estrutura. Outra causa possível para tal comportamento seria que o modo de ruptura de prismas com relações entre os módulos de elasticidade dos materiais de 0,29 e 0,54 foi diferente do verificado para a relação de 0,74.

KHALAF et al. (1996) constataram, ainda, que a resistência dos prismas aproxima-se da resistência da argamassa à medida que aumenta-se a relação entre E_a e E_b , enquanto que a resistência dos prismas é mais próxima da resistência do bloco para relações mais baixas entre os módulos de elasticidade dos materiais.

A partir dos resultados de resistência à compressão de prismas de alvenaria de blocos de concreto, MOHAMAD (1998) desenvolveu equações para indicar a resistência da alvenaria em função da proporção entre os módulos de elasticidade dos materiais (E_a/E_b) e da relação entre a resistência à compressão dos prismas e da argamassa, ou da relação entre

à resistência à compressão dos prismas e a resistência à tração do bloco, conforme equações 2.2 e 2.3.

$$f_p = f_a \cdot (0,5794 \cdot (E_a/E_b)^{-1,1093}) \quad (2.3)$$

$$f_p = f_{bt} \cdot (5,4491 \cdot (E_a/E_b)^2 + 3,6377 \cdot (E_a/E_b) + 10,219) \quad (2.4)$$

Portanto, visando otimizar a resistência da alvenaria sujeita à compressão axial torna-se necessário compreender o tipos de ruptura que ocorrem e, consequentemente, os tipos de tensões que as geram.

As propriedades mecânicas da unidade de alvenaria e do material de assentamento são determinantes para a resistência à compressão da alvenaria, uma vez que o mecanismo de ruptura da parede está diretamente ligado à interação entre junta e unidade.

Desta forma, o desenvolvimento de argamassas de assentamento com propriedades intrínsecas modificadas pode tornar compatível o comportamento do conjunto unidade de alvenaria/argamassa. A compatibilidade entre o comportamento mecânico dos materiais pode resultar em melhoria na resistência da alvenaria e consequente aumento do fator de eficiência para blocos com resistência elevada.

Para materiais compósitos à base de cimento como as argamassas de assentamento, através do controle do processo de produção pode-se controlar a evolução da microestrutura e, consequentemente, obter propriedades físicas e mecânicas desejadas.

Para tanto, deve-se, inicialmente, identificar e avaliar numericamente as características importantes da microestrutura da argamassa, para posteriormente elaborar estratégias no sentido de alterá-la e melhorar a sua performance e durabilidade.

Desta forma, alterando a formulação da argamassa pode-se obter uma microestrutura adequada, que conduza às propriedades desejadas para o material.

2.2. Argamassas de assentamento.

2.2.1. Argamassa mista de cimento e cal.

As argamassas mistas de cimento e cal podem ser definidas como uma mistura de aglomerantes (cimento Portland e cal hidratada) e agregados minerais (areia) com água, em proporções adequadas.

A argamassa de assentamento, segundo a norma NBR 8798 (1985), é o componente utilizado na união entre os blocos estruturais, garantindo a distribuição uniforme dos esforços atuantes no elemento parede de alvenaria e a monoliticidade do conjunto. Constitui-se de uma mistura homogênea de cimento Portland, cal hidratada ou pasta de cal, agregado miúdo e água de amassamento, em proporções adequadas.

O cimento Portland é o principal responsável pela resistência da argamassa, além de acelerar o endurecimento. Já a cal hidratada atua como plastificante da mistura, devido a sua capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, de conferir trabalhabilidade. Variando-se as proporções entre cimento e cal obtém-se argamassas com propriedades diversas, que adequam-se ao seu uso para assentamento, revestimento, grauteamento ou rejunte.

As argamassas mistas de cimento e cal são amplamente utilizadas para o assentamento de unidades de alvenaria, tanto estruturais quanto de vedação.

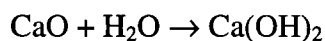
2.2.2. Microestrutura de argamassas mistas de cimento e cal.

Os cimentos pertencem a classe dos materiais denominados aglomerantes hidráulicos, os quais endurecem quando misturados com água.

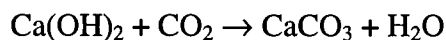
Quantitativamente, os principais componentes do cimento Portland são: óxido de cálcio (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e óxido férrico (Fe₂O₃). Além destes componentes principais, encontram-se outros elementos que influenciam de maneira menos acentuada as características do cimento, tais como o óxido de magnésio e o anidro sulfúrico.

Os quatro componentes principais encontram-se no cimento na forma de complexos, denominados: silicato tricálcico (3 CaO.SiO₂); silicato dicálcico (2 CaO.SiO₂); aluminato tricálcico (3 CaO.Al₂O₃) e ferro aluminato tetracálcico (4 CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃).

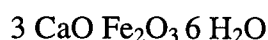
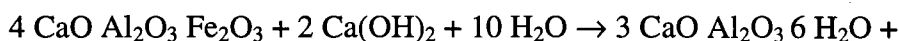
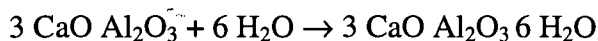
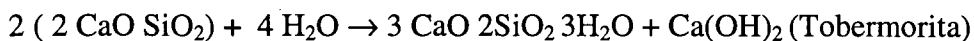
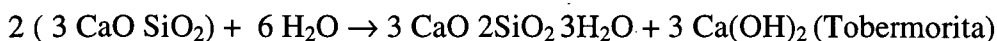
A cal hidratada é utilizada como material constituinte de argamassas a fim de melhorar a plasticidade e, conseqüentemente, torná-las melhor trabalháveis. A cal hidratada (Ca(OH)₂) origina-se da reação de hidratação ou extinção da cal virgem (CaO):



As cales dolomíticas apresentam elevados teores de MgO. A reação de carbonatação origina carbonato de cálcio (CaCO₃), modificando a estrutura cristalina e topológica e, assim, conferindo maior endurecimento:



As principais reações de hidratação do cimento, segundo TAYLOR (1994), são:



O composto $3 \text{ CaO } 2\text{SiO}_2 3\text{H}_2\text{O}$ é denominado de silicato de cálcio hidratado, ou C-S-H, onde em química do cimento: C = CaO; S = SiO₂; H = H₂O; S = SO₃; A = Al₂O₃.

TAYLOR (1994) relata as principais características da microestrutura de materiais à base de cimento:

- presença de fases hidratadas com composições e características microestruturais variando localmente (C-S-H, CH, C₆AS₃H₃₂,...);
- presença de uma fase aquosa de composição variável, no interior de poros com tamanhos variando em uma grande escala de magnitude;
- alterações com a idade e com o meio ambiente (umidade relativa, temperatura);
- muitas vezes, o comportamento do material é determinado por zonas com microestruturas especiais, que ocorrem em lugares específicos no sistema, ao invés da microestrutura geral prevalescente (Ex.: zonas próximas à interface agregado-pasta de cimento).

Há uma interdependência entre a microestrutura destes materiais e as propriedades físicas e mecânicas, dentre as quais encontram-se algumas tecnologicamente essenciais em engenharia civil, tais como trabalhabilidade, retenção de água, resistências à compressão e à tração, módulo de elasticidade, entre outras.

2.2.3. Funções das argamassas de assentamento.

Segundo a BS 5628: Part 3 (1985), as funções primárias das juntas de argamassa em uma parede de alvenaria são:

- a) unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- b) distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos;
- c) absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;
- d) selar as juntas contra a penetração de água da chuva.

A NBR 8798 (1985) especifica que as funções da argamassa de assentamento são garantir a distribuição uniforme das cargas atuantes na parede de alvenaria e a monoliticidade do conjunto unidade de alvenaria/argamassa.

2.2.4. Principais propriedades das argamassas de assentamento no estado fresco.

2.2.4.1. Trabalhabilidade.

A RILEM MR-3 (1982) considera trabalhabilidade como a facilidade do pedreiro trabalhar com a argamassa, isto é, o conjunto de fatores da argamassa que conferem boa qualidade e produtividade na sua aplicação. A consistência e a plasticidade são as

propriedades reológicas básicas que caracterizam a trabalhabilidade das argamassas. Define, ainda, a consistência como sendo a tendência da argamassa em resistir à deformação.

A trabalhabilidade é uma noção subjetiva, sem conotações físicas significativas. A consistência é o componente físico mais importante da trabalhabilidade, relacionando-se com propriedades intrínsecas da mistura plástica tais como mobilidade da massa e coesão entre os elementos constituintes. A trabalhabilidade é medida indiretamente através de ensaios normalizados que avaliam a consistência da argamassa.

A NBR 8798 (1985) estabelece que a consistência mínima das argamassas de assentamento seja 230 ± 10 mm, para permitir sua utilização em obras de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.

As argamassas, quanto à consistência, são classificadas em:

- seca: a pasta preenche somente os vazios entre os grãos mantendo estes em contato, resultando em massas ásperas e pouco trabalháveis;
- plástica: uma película delgada de pasta recobre a superfície dos grãos de agregado miúdo, atuando como lubrificante;
- fluida: as partículas de areia estão imersas na pasta, sem coesão interna e com tendência à segregação, impossibilitando seu emprego devido a excessiva fluidez.

SHALON et al. in SABBATINI (1984) concluíram a partir de seus estudos que:

- a consistência adequada para um pedreiro não é para outro;
- é uma propriedade de escolha pessoal de cada pedreiro, não podendo, desta forma, ser generalizada;
- os pedreiros conseguem manter uma dada consistência constante, independente da composição da argamassa.

Segundo SABBATINI (1986), no estado plástico a argamassa deve ter boa trabalhabilidade, que sob ponto de vista prático significa:

- manter-se íntegra na ferramenta de aplicação durante o manuseio horizontal, bem como não segregar ao ser transportada (coesão);
- deslizar sem aderir quando da colocação sobre a unidade (fluidez);
- possibilitar espalhamento fácil sobre a unidade preenchendo todas as reentrâncias (extensão);
- não endurecer em contato com unidades de alvenaria de sucção elevada;
- permanecer plástica por tempo suficiente para que as unidades sejam ajustadas facilmente durante o alinhamento, prumo e nível.

As propriedades da argamassa no estado fresco e no estado endurecido estão intrinsecamente relacionadas. Uma argamassa endurecida de qualidade não pode ser produzida se esta, no estado plástico, não apresentar trabalhabilidade satisfatória.

2.2.4.2. Massa específica aparente (densidade de massa) e teor de ar.

A massa específica aparente é definida como sendo a razão entre a massa da argamassa e o volume, considerando-se inclusive os vazios. Estes vazios contêm ar aprisionado ou são espaços oriundos da evaporação da água de amassamento.

Argamassas com elevado volume de vazios apresentam massa específica aparente baixa, considerando-se que a massa específica dos materiais utilizados (cimento, cal, ...) é sempre a mesma. O teor de ar incorporado tem influência significativa sobre a trabalhabilidade da argamassa. A NBR 13279 (1995) estabelece que o adensamento de argamassas com teor de ar incorporado superior a 8,0 % deve ser feito através de acomodação de camadas, de modo diferente das demais argamassas onde deve-se empregar

4 camadas de 30 golpes cada. Isto decorre da elevada plasticidade de argamassas com teor de ar incorporado superior a 8,0 %, uma vez que o adensamento feito com 4 camadas de 30 golpes pode ocasionar segregação na argamassa.

2.2.4.3. Retenção de água.

É a capacidade da argamassa em reter a água de amassamento quando em contato com uma superfície absorvente. A capacidade de reter a água está intrinsecamente relacionada com a manutenção da consistência da argamassa.

Desta forma, reter a água de amassamento é essencial para manter a consistência desejada e, em consequência, a trabalhabilidade.

A norma NBR 8798 especifica que a retenção de água mínima das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural deva ser maior ou igual a 75%. A ASTM C 270-86b (1987) estabelece o mesmo valor para a retenção de água mínima das argamassas de assentamento, para todos os traços especificados na norma.

DAVIDSON (1974) constatou que a perda substancial de água das argamassas, quando em contato com um substrato absorvente, ocorre nos primeiros cinco minutos, sendo que a maior perda acontece nos dois primeiros minutos.

Propriedades da argamassa no estado endurecido tais como a resistência mecânica são influenciadas pela retenção de água. As reações de hidratação do cimento Portland ocorrem durante a cura úmida das argamassas, exigindo quantidades adequadas de água para que aconteça o endurecimento da pasta.

Argamassas com elevados valores de retenção de água asseguram a hidratação do cimento, sem perder a plasticidade. SABBATINI (1984) afirma que argamassas pouco retentivas, além de dificultarem o manuseio, podem acarretar redução na resistência de

aderência e aumento na rigidez (maior módulo de deformação), devido a perda de água para a base. O aumento na rigidez resulta em menor capacidade de absorver deformações.

Além disso, a perda exagerada de água pela argamassa, devido ao efeito de sucção da base, pode ocasionar redução da resistência à compressão decorrente da hidratação incompleta do cimento. Podem ocorrer, ainda, expansões indesejáveis nas unidades de alvenaria com elevado poder de sucção (Taxa inicial de absorção elevada), aumentando o potencial de retração por secagem. Estes fatores contribuem para que a durabilidade e a estanqueidade da parede sejam prejudicadas.

A água em excesso é prejudicial à argamassa, contudo esta é cedida de maneira fácil para o substrato, por sucção. A força de atração desta água em excesso na argamassa não é suficiente para mantê-la ligada à massa.

2.2.5. Principais propriedades das argamassas de assentamento no estado endurecido.

2.2.5.1. Aderência.

A aderência entre a argamassa de assentamento e a unidade de alvenaria é uma propriedade conjunta deste par. Uma união adequada vai depender fundamentalmente das características dos dois componentes individualmente e da sua compatibilidade.

A capacidade de aderência depende do substrato e da argamassa, devendo esta apresentar uma retenção de água adequada. A sucção de tijolos e blocos influi significativamente sobre a aderência, bem como o manuseio em obra e as condições de cura.

A aderência entre junta de argamassa/unidade é um fenômeno mecânico que se processa pela ancoragem da argamassa na unidade de alvenaria através da penetração dos componentes da pasta de aglomerante nas reentrâncias e poros do substrato, por sucção destes. A argamassa endurecida fica encunhada na superfície rugosa do substrato, ou seja, nos poros e canais capilares do tijolo ou bloco.

A aderência é uma propriedade fundamental da interação unidade/argamassa em edificações concebidas em alvenaria estrutural, devendo garantir resistência adequada às solicitações laterais de flexão ou cisalhamento sobre as paredes, oriundas da ação do vento. Estas solicitações laterais, segundo FRANCO (1988), podem ser perpendiculares ou paralelas ao plano das paredes dos edifícios.

LAWRENCE et al. (1988), baseando-se em análise microestrutural com microscópio eletrônico de varredura e espectrometria de energia dispersiva, constataram que a aderência depende, principalmente, da umidade da unidade de alvenaria e da microestrutura dos compostos hidratados de cimento Portland.

Os autores identificaram na interface pasta/tijolo cerâmico duas camadas diferentes. A primeira camada, próxima da superfície porosa do tijolo, constituída por um filme onde ocorre a precipitação preferencial de cristais de hidróxido de cálcio sob forma de placas, e a segunda composta principalmente por C-S-H e cristais de etringita. A diferença entre as duas camadas é em relação a morfologia destas. As propriedades de aderência derivariam do intertravamento dos produtos formados.

Os autores verificaram que quando a unidade de alvenaria está saturada a sucção é baixa e a penetração da pasta de aglomerante nos poros é mínima. Isto ocasiona uma elevada porosidade decorrente do aumento do fator água/cimento. Já quando a unidade encontra-se muito seca ocorre uma elevada sucção e consequente penetração maior da pasta nos poros, resultando em altas resistências de aderência. Contudo, a perda excessiva de água da argamassa para a unidade pode ocasionar hidratação incompleta do cimento e prejudicar a resistência mecânica.

Análises microestruturais da interface tijolo cerâmico/argamassa realizadas por DUPIN et alii (1988) in CARASEK et alii (1997), utilizando microscópio eletrônico de varredura, difratometria de raios X e termogravimetria, contradizem autores como LAWRENCE et al. (1988). Os referidos autores constataram que a zona de contato da pasta de cimento com o tijolo cerâmico é composta principalmente por cristais de trisulfoaluminato de cálcio hidratado, ou seja, etringita. A aderência entre a pasta e o substrato cerâmico seria decorrente do intertravamento mecânico dos cristais de etringita nos poros do substrato.

2.2.5.2. Resiliência.

A junta de argamassa deve apresentar resiliência satisfatória, ou seja, capacidade de deformar-se sem romper macroscopicamente.

A resiliência caracteriza-se por ser um estado de deformação plástica onde a ruptura ocorre sob forma de fissuras microscópicas.

A resiliência está relacionada com o módulo de deformação longitudinal da argamassa de assentamento. Argamassas com baixo módulo de deformação, ditas fracas, apresentam ligações internas com baixa resistência e, conseqüentemente, elevada capacidade de acomodação plástica. Assim, as tensões são dissipadas sob forma de microfissuras. Desta forma, argamassas ditas fracas (módulo de deformação baixo) apresentam maior capacidade de absorver deformações.

Argamassas com elevado módulo de deformação, ditas fortes, apresentam acúmulo de tensões até níveis altos, sendo que a ruptura se manifesta por fissuras macroscópicas. Tais macrofissuras são prejudiciais visto que podem comprometer a estanqueidade da alvenaria. CINCOTTO et alii (1985) relatam patologia em alvenaria de blocos assentados com argamassa simples de cimento Portland, caracterizada por penetração da água da chuva através de fissuras macroscópicas.

Em prismas de alvenaria não-grauteados, a relação entre a rigidez da argamassa e da unidade influi sobre a resistência da alvenaria, conforme os resultados de estudos de autores como BOULT (1979), HAMID et al. (1979), KHALAF et al. (1996) e MOHAMAD (1998) mostrados anteriormente. Tal relação é importante na determinação do tipo de ruptura da alvenaria, devido às tensões de confinamento e de tração que originam-se na argamassa e na unidade, respectivamente. Estas tensões relacionam-se à capacidade da argamassa em deformar-se e, também, à aderência entre unidade/argamassa.

Como as deformações nas juntas de argamassa em alvenaria estrutural são restringidas, originam-se tensões que são resistidas pelas ligações internas da argamassa ou se acumulam até ultrapassarem a sua resistência.

A resiliência da argamassa é uma propriedade essencial em paredes de alvenaria, visto que esta ao fissurar não fica submetida ao estado triaxial de compressão, devido a não ocorrência de confinamento.

2.2.5.3. Resistência mecânica.

Os valores adotados pela BS 5628: Part 1 (1992) e EUROCODE 6, bem como resultados de vários autores tais como HAMID et al. (1979), KHALAF et al. (1994), ALY et al. (1994), e MOHAMAD (1998), entre outros, mostram que a resistência à compressão da argamassa apresenta influência pouco significativa sobre a resistência à compressão das paredes de alvenaria. A resistência à compressão das unidades é o fator determinante na resistência da alvenaria. A influência da resistência à compressão da argamassa aumenta à medida que cresce a resistência da unidade de alvenaria.

A resistência à compressão da argamassa não influi significativamente sobre a resistência da alvenaria ao considerar-se apenas princípios de superposição de resistências dos materiais, ou seja, que a resistência da parede de alvenaria é uma percentagem da resistência do bloco e da argamassa.

O módulo de elasticidade e a resistência da argamassa correlacionam-se entre si. Assim, a resistência à compressão da argamassa é uma propriedade a ser considerada visto que o mecanismo de ruptura das paredes está ligado à interação entre a junta e a unidade e, desta forma, as propriedades mecânicas do material de assentamento influem sobre a resistência da alvenaria.

Além disso, uma vez que a principal solicitação em paredes de alvenaria é a compressão, a argamassa deve ter resistência suficiente para distribuir adequadamente as cargas atuantes por toda área resistente da unidade de alvenaria. A resistência da argamassa não deve exceder a resistência dos tijolos ou blocos da parede, de maneira que possíveis fissuras ocorram na junta. As argamassas de assentamento devem resistir às tensões de tração oriundas de movimentações de origem térmica ou de variação no teor de umidade.

2.2.5.4. Permeabilidade.

A permeabilidade de argamassas de assentamento à água deve ser considerada pois influencia a habitabilidade da edificação. A permeabilidade relaciona-se à estanqueidade das argamassas de assentamento em paredes de alvenaria. Apesar do revestimento ser o principal responsável pela estanqueidade da parede de alvenaria, a argamassa de assentamento deve apresentar absorção baixa de água a fim de evitar patologias no caso de possíveis infiltrações.

A passagem da água através da argamassa pode ocorrer por:

- pressão;
- capilaridade, com baixa pressão hidrostática, quando a argamassa absorve a água que estiver em contato na superfície;
- difusão de vapor de água.

2.2.5.5. Estabilidade volumétrica.

A variação volumétrica que ocorre em argamassas é decorrente das reações químicas de hidratação do cimento Portland ou de variações de umidade e temperatura. Sob um ponto de vista de variação dimensional, a retração por secagem é um fenômeno que ocorre em argamassas nas primeiras idades. A perda da água de amassamento pode ser para a base e também por evaporação, dependendo de fatores relacionados às condições de exposição como temperatura, umidade relativa, incidência solar e velocidade do vento.

Além disso, segundo CAVALHEIRO (1995), a retração por secagem em argamassas de assentamento é influenciada por fatores relacionados aos materiais, tais como teor de água, granulometria da areia e quantidade de cimento. YOOL et al. (1998) constatou que utilizando-se areias que continham teores maiores de argila produziam-se argamassas com retrações elevadas. Contudo, argamassas produzidas com teor baixo de argila mas com elevada porcentagem de finos também tiveram retrações substanciais.

Esta propriedade tem papel fundamental no desempenho da parede, pois afeta a estanqueidade e a durabilidade da mesma. Como consequência destas variações dimensionais, a parede pode ter seu desempenho prejudicado pela ocorrência de fissuração e demais patologias. Desta forma, a retração por secagem nas argamassas de assentamento deve ser baixa.

2.3. Adições em argamassas.

A utilização de adições tais como materiais pozolânicos, materiais cimentícios, polímeros e fibras é comum em materiais à base de cimento Portland, sobretudo argamassas para concreto. Tais adições em argamassas simples de cimento Portland visam conferir propriedades modificadas ao material, adequando-o ao uso a que se destina.

2.3.1. Utilização de sílica ativa em argamassas simples de cimento Portland.

Segundo MALHORTA et al. (1996), o termo adições refere-se a qualquer material além de cimento, agregados e água usado como componente de argamassas, introduzido ao conjunto antes ou durante a mistura.

A ASTM C 618 (1978) e a NBR 12653 (1992) definem pozolana como um material composto basicamente por sílica ou sílica-alumina, que possui pequena ou nenhuma propriedade aglomerante. Contudo, sob forma finamente dividida e em presença de umidade, as pozolanas reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio à temperaturas normais para formar compostos que possuem propriedades aglomerantes. Denomina-se reação pozolânica à reação entre sílica e cal nos sistemas cimentícios.

Em argamassas simples de cimento Portland, a reação da pozolana (SiO_2) com a cal resultante da hidratação do cimento (Ca(OH)_2) forma um gel resistente de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) semelhante ao formado pela reação do cimento, conforme mostrado na equação 2.5.



Onde: S = SiO_2 ; CH = Ca(OH)_2 ; H = H_2O .

Para desenvolver ação cimentante, é evidente que a pozolana deve ser misturada com cal ou com cimento Portland, uma vez que o hidróxido de cálcio é um dos produtos da reação do cimento com a água.

Os materiais pozolânicos comumente usados em argamassas simples de cimento Portland para concreto são cinzas vulcânicas, argilas calcinadas, cinza de carvão pulverizada de usinas termelétricas e sílica ativa.

Dentre os materiais pozolânicos usados como adição em argamassas encontra-se a sílica ativa, que é um sub-produto da indústria dos silicões. O ferro-silício e outras ligas de silicone são produzidos em fornos elétricos onde o quartzo é reduzido por carbono à temperaturas muito altas. Ao longo do processo, vapores de SiO_2 são produzidos, oxidando e condensando na forma de esferas microscópicas de sílica não-cristalina (diâmetro médio $0,1 \mu\text{m}$). O produto, que é altamente pozolânico, é recuperado através da passagem de gás liberado por um filtro.

Segundo MALHORTA et al. (1996), a sílica ativa contém teor maior que 78 % de SiO_2 em forma amorfa, adequando-se, assim, para uso na indústria de cimento e concreto. A elevada reatividade pozolânica da sílica ativa com o hidróxido de cálcio é decorrente da combinação de dois fatores, a estrutura amorfa e a alta área específica. A fase não-cristalina na sílica ativa consiste fundamentalmente de uma estrutura Si-O desordenada.

O uso de sílica ativa é prática corrente em materiais compósitos à base de cimento Portland unicamente (argamassas simples de cimento, concreto) devido a sua ação de microfiller e alta atividade pozolânica que resultam em melhorias na resistência mecânica e redução da porosidade, principalmente perto da interface pasta-agregado onde se forma uma maior quantidade de hidróxido de cálcio.

Além da ação pozolânica, as esferas microscópicas se depositam nos interstícios da pasta e apresentam um efeito de microfiller, atuando como um ponto de nucleação. Por exemplo, a sílica ativa produzida por ELKEM (1985) in SILVA (1988) apresenta uma concentração da ordem de 50.000 partículas deste material para cada partícula de cimento

Portland.

Segundo MALHORTA et al. (1996), o uso de adições minerais como a sílica ativa, adicionada ao cimento Portland ou substituindo parte deste, modificam a microestrutura da pasta de cimento devido à reação pozolânica com o hidróxido de cálcio livre. Esta microestrutura modificada resulta em uma pasta mais homogênea, mais compacta, mais resistente e com menor calor de hidratação.

O referido autor relata que como a sílica ativa possui partículas esféricas e microscópicas, esta deveria preencher os espaços entre os grãos grandes de cimento e, desta forma, reduzir a quantidade de água necessária para obter dada consistência em argamassas de cimento para concretos. Contudo, a elevada área específica das partículas de sílica ativa tende a aumentar a demanda de água para uma dada consistência. Isto repercute em redução da trabalhabilidade de argamassas com sílica ativa, substituindo o cimento ou adicionando-se a este.

Com relação ao aumento significativo de resistência à compressão e estanqueidade com a utilização de sílica ativa em argamassas de cimento, MALHORTA et al. (1996) justifica-o devido ao efeito filer e a excelente atividade pozolânica da adição mineral que resulta em uma zona de transição mais resistente na interface pasta-agregado.

SILVA (1988) estudou os efeitos da adição de sílica ativa somada de agentes redutores de água sobre o índice de consistência, a resistência à compressão e a resistência à tração de três traços de argamassas de cimento (1:2,5; 1:3 e 1:4), para um mesmo fator água/cimento. O autor constatou que o índice de consistência aumenta significativamente com a adição de sílica ativa, devido provavelmente ao efeito do aditivo redutor de água. Os resultados de resistência à compressão mostraram aumento significativo sobretudo para os traços mais pobres em cimento. Quanto à resistência à tração por compressão diametral, as melhorias foram pouco significativas e os ensaios de baixa reprodutividade.

SCHULER et al (1993) verificaram que o efeito da adição de sílica ativa em argamassas simples de cimento Portland mostrou-se significativo no aumento da resistência à tração, no entanto tal efeito não foi significativo no aumento das resistências à

compressão e ao cisalhamento. De acordo com os resultados, a resistência à compressão e a resistência ao cisalhamento são propriedades determinadas principalmente pelo fator água/aglomerante da mistura.

LARRARD et al. (1992) constataram que a trabalhabilidade e a resistência à compressão de argamassas simples de cimento Portland com sílica ativa variam de acordo com a composição desta. A variação foi de $\pm 10 \%$ para os resultados de resistência à compressão. Verificaram, ainda, que a resistência à compressão diminui à medida que o teor de álcalis aumenta, para uma quantidade de água e um teor de ar incorporado constantes. Tal comportamento é um reflexo da atividade pozolânica da sílica ativa.

Os efeitos da sílica ativa sobre a microestrutura e as propriedades de argamassas onde os aglomerantes são cimento Portland e cal hidratada não são estabelecidos.

2.3.2. Adição de látex polímero em argamassas simples de cimento Portland.

2.3.2.1. Definições.

Denomina-se monômero a uma molécula orgânica, de baixa massa molecular, capaz de se combinar quimicamente com moléculas de mesma ou mais espécies para formar uma macromolécula, de alta massa molecular, chamada de polímero ou resina sintética. A reação de síntese que converte o monômero em polímero é chamado polimerização.

As características dos polímeros estão diretamente ligadas com a sua forma geométrica. São divididos em termoplásticos, termofixos e elastômeros, dependendo da sua configuração geométrica.

Os termoplásticos são normalmente polímeros lineares e solúveis. Embora certas espécies apresentam baixa solubilidade devido ao grande comprimento das cadeias e aos

grupos químicos fixados nestas.

Os termofixos são polímeros tridimensionais, e consistem de cadeias longas, conectadas em três dimensões.

Os elastômeros são polímeros obtidos através da criação de algumas ligações cruzadas em determinados polímeros lineares, as quais restringem a movimentação das cadeias e produzem propriedades elásticas. A maioria dos elastômeros são amorfos. Para altas temperaturas estas características de elasticidade são perdidas.

2.3.2.2. Argamassas modificadas com látex polímero.

A adição de polímeros em argamassas simples de cimento Portland pode ser feita das seguintes maneiras:

- substituição de parte do cimento Portland por um polímero ou a adição deste à argamassa. Desta substituição resultam as argamassas modificadas com polímero;
- substituição total do cimento por um aglomerante polimérico, resultando nos compósitos denominados de argamassas poliméricas;-
- impregnação de uma base de argamassa endurecido por um monômero e posterior polimerização. Estes compósitos denominam-se argamassas impregnadas com polímero.

Argamassas modificadas com polímero são produzidas com a mistura de polímeros ou monômeros dispersos na forma líquida ou em pó, subsequentemente curados e, se necessário, o monômero é polimerizado in situ.

A Tabela 2.9 mostra os polímeros e monômeros comumente utilizados em argamassas modificadas com polímero, segundo OHAMA (1984).

Tabela 2.9. Polímeros e monômeros utilizados em argamassas modificadas com polímero [Fonte: OHAMA (1984)].

Polímeros e monômeros	Látex polímeros	Látex elastomérico
		Látex termoplástico
		Látex termofixo
		Látex betuminoso
		Látex misto
	Emulsões em pó	
	Polímeros solúveis em água	
	Resinas líquidas	
	Monômeros	

Várias argamassas modificadas são produzidas utilizando os polímeros e monômeros mostrados na tabela anterior. A seleção do polímero adequado depende das condições de serviço e do meio ambiente.

Segundo CHANDRA et al. (1994), o polímero mais utilizado em argamassas e concretos é o látex. RILEY (1974) in CHANDRA et al. (1994) caracteriza o látex como sendo uma dispersão estável de partículas de polímero orgânico, mantidas em suspensão na água pelos agentes de superfície. Essas partículas são da ordem de 0,05 a 1,00 µm de diâmetro. Os agentes de superfície estabilizam os polímeros na presença de íons polivalentes do cimento e previnem a coagulação das partículas sob a ação de forças cisalhantes que se desenvolvem quando a argamassa é misturada.

OHAMA (1984) constatou que embora os polímeros e monômeros em todas as formas citadas sejam aplicados nas argamassas, é muito importante que a hidratação do cimento e a formação da fase de polímero (coalescência das partículas de polímero ou a

polimerização do monômero) ocorram de maneira a formar uma matriz monolítica em que a fase látex interpenetre através da fase de cimento hidratado.

Argamassas modificadas com látex polímero são consequência da hidratação do cimento e formação do filme de polímero.

RILEY et al. (1974) in CHANDRA et al. (1994) afirma que o princípio de modificação com emulsões em pó é quase o mesmo dos látex polímeros, exceto que esta modificação envolve a introdução do material sob forma de pó. O princípio de introdução de emulsões em pó envolve uma pré-mistura a seco do pó com os agregados e cimento para, posteriormente, adicionar-se água.

A maioria dos látex polímeros utilizados são na forma de emulsão e adicionados à argamassa durante a mistura. O látex polímero é utilizado em elevadas proporções quando comparado com outros aditivos que estão abaixo de 5% em relação à massa de cimento, como agentes incorporadores de ar ou redutores de água.

OHAMA (1984) relaciona vários tipos de látex polímero utilizados com cimento Portland, mostrados na Tabela 2.10.

Tabela 2.10. Látex para utilização em argamassas modificadas com polímero [Fonte: OHAMA (1984)].

Látex elastomérico	Borracha natural	
	Borracha sintética	Estireno-butadieno (SBR)
		Policloropreno (CR)
		Acrilonitrilabutadieno (NBR)
Látex Termoplástico		Éster poliacrílico (PAE)
		Poliacetato de vinila-etileno (EVA)
		Policloreto de vinilideno – cloreto de vinila (PVDC)
		Acetato de polivinila (PVAC)
		Polivinil propianato (PVP)
Látex Termofixo		Polipropileno
	Epóxi (EP)	
Látex Betuminoso	Asfalto	
	Parafina	
	Asfalto elastomérico	
Látex misto		

2.3.2.3.Reações de hidratação.

Segundo OHAMA (1987), em argamassas modificadas com látex polímero ocorre a hidratação do cimento e a formação da fase polimérica pela coalescência das partículas de polímero. Forma-se uma estrutura na qual a fase de cimento hidratado e a fase de polímero se interpenetram, sendo que os agregados são ligados por estas duas fases.

EASH (1975) in CHANDRA et al. (1994) relata que as reações de hidratação nos cimentos com polímero e nos cimentos convencionais são as mesmas. WAGNER et al. (1978) constatou que a hidratação do cimento geralmente precede o processo de formação do filme de polímero.

Na pasta de cimento Portland, formam-se gradualmente os géis de silicato de cálcio hidratado pela hidratação do cimento, havendo saturação de hidróxido de cálcio na fase líquida. As partículas de látex encontram-se dispersas de maneira uniforme na pasta de cimento e se depositam parcialmente nas superfícies dos géis já formados e das partículas não hidratadas do cimento Portland.

À medida que se desenvolve a hidratação do cimento Portland, aumenta o teor de gel e as partículas do látex polímero são paulatinamente retidas nos poros capilares. As partículas de látex polímero coalescem com a redução da água nos capilares, devido ao prosseguimento das reações de hidratação do cimento Portland.

As partículas de látex polímero ao coalescer formam um filme contínuo ou membrana nas superfícies dos géis e dos grãos de cimento não hidratados e, ainda, na camada de silicato de cálcio formada na superfície dos grãos dos agregados.

As membranas ligam os géis hidratados e os agregados, formando uma matriz monolítica em que a fase látex interpenetra através da fase de cimento hidratado.

KARAI et alii. (1982) in CHANDRA et al. (1994) afirma que como as pastas de cimento portland endurecidas são formadas principalmente por uma estrutura aglomerada de silicato de cálcio ligados por forças de van der Waals, estas ligações são fracas, ocorrendo facilmente microfissuras quando a pasta estiver sujeita aos esforços de ordem estrutural ou térmicos.

A microestrutura de argamassas modificadas com látex polímero apresenta microfibras de polímero que formam pontes através das microfissuras, restringindo a sua propagação e, simultaneamente, verifica-se uma forte ligação entre a matriz aglomerante e os agregados. Esta forte ligação constatada em argamassas modificadas com látex polímero proporciona elevadas resistências à tração e adesividade.

Segundo CHANDRA et al. (1994), as propriedades de argamassas modificadas com polímero são melhoradas comparando-se com argamassas de cimento convencionais. As propriedades de argamassas modificadas com polímero, no estado fresco e endurecido, são afetadas por vários fatores tais como tipo de polímero, razão polímero/cimento, fator

água/cimento, teor de ar incorporado e condições de cura.

2.3.2.4. Propriedades de argamassas modificadas com polímero no estado fresco.

Trabalhabilidade.

CHANDRA et al. (1994) afirma que, geralmente, a argamassa modificada com polímero apresenta trabalhabilidade melhor do que argamassas de cimento normais. Tal comportamento é decorrente da melhoria na consistência oriunda da ação das partículas do látex, que atuam como esferas e produzem um efeito plastificante. Isto permite uma redução da quantidade de água de amassamento.

A fluidez de argamassas modificadas com polímero aumenta com o acréscimo do fator água/cimento e fator polímero/cimento. Para um dada consistência, o fator água/cimento de argamassas modificadas com polímero pode ser reduzido com o aumento do fator polímero/cimento. Esta redução de água contribui efetivamente para o desenvolvimento de resistências mecânicas maiores e a redução de retração por secagem.

Teor de ar incorporado.

CHANDRA et al. (1994) relata que na maioria das argamassas modificadas com polímero ocorre uma incorporação de ar significativa, devido à ação dos agentes de superfície utilizados como emulsificantes e estabilizantes. Segundo o referido autor, o teor de ar incorporado na maioria das argamassas com polímero é da ordem de 5 a 20%.

Um teor de ar incorporado adequado repercute em aumento da consistência. Um teor de ar incorporado excessivo ocasiona redução na resistência à compressão. Assim, para contornar esta excessiva incorporação de ar, os látex já estão sendo comercializados com

agentes anti-espumantes.

Retenção de água.

A retenção de água de argamassas modificadas com polímero, segundo CHANDRA et al. (1994), melhora quando comparada com argamassas de cimento comuns. A retenção de água é significativamente influenciada pela relação polímero/cimento.

A causa de tal comportamento pode ser explicada em termos das propriedades coloidais hidrofílicas dos látex polímeros e da inibição da evaporação de água devido ao efeito de preenchimento e enclausuramento oriundo da formação do filme de polímero impermeável.

Assim, uma quantidade suficiente de água necessária para a hidratação do cimento é mantida na argamassa, uma vez que para a maioria dos sistemas modificados com polímero a cura a seco é a mais adequada. A melhoria na retenção de água contribui para que ocorra hidratação completa do cimento em argamassas empregadas em camadas de revestimento delgadas ou substratos altamente absorventes.

2.3.2.4. Propriedades de argamassas com látex polímero no estado endurecido.

Resistência mecânica.

A Tabela 2.11 apresenta a resistência de argamassas modificadas com polímero, segundo resultados de OKADA et al. (1982) in CHANDRA et al. (1994).

Tabela 2.11. Resistência mecânica de argamassas modificadas com polímero
[Fonte: OKADA et al. (1982) in CHANDRA et al. (1994)].

Tipo de argamassa	Relação polímero- cimento (%)	Resistência (MPa)	
		Flexão	Compressão
Não modificada	0	3 - 5	18 - 20
Modificada com NR – Natural Rubber	10	4 - 6	15 - 17
	20	2 - 3	4 - 5
Modificada com CR – Policloroprene.	10	5 - 6	18 - 19
	20	9 - 10	31 - 34
Modificada com SBR – Styrene Butadiene Rubber	10	6 - 10	15 - 29
	20	7 - 12	17 - 32
Modificada com EVA – Ethyl Vinyl Acetate	10	6 - 9	18 - 29
	20	6 - 11	19 - 32

Conforme demonstram os resultados, as argamassas modificadas com polímero apresentam um aumento considerável na resistência à tração e na resistência à flexão, mas não há melhoria na resistência à compressão, quando comparadas com argamassas de cimento comuns.

Tal comportamento é decorrente da contribuição oferecida pela elevada resistência à tração dos polímeros e uma melhoria global na ligação cimento-agregado. As propriedades relacionadas à resistência de argamassas modificadas com polímero são influenciadas por vários fatores, que tendem a interagir uns com os outros. Os principais fatores são: a natureza dos materiais usados, tais como látex polímeros, cimentos e agregados; as proporções de mistura (relação polímero/cimento, fator água/cimento, proporção aglomerante-vazios, teor de ar incorporado, etc...); métodos de cura e métodos de ensaio.

Segundo STORTE (1991), a resistência à compressão é muito influenciada pelo teor e tipo de látex utilizado, bem como pela quantidade de monômeros que formam o copolímero.

OHAMA (1970) in CHANDRA et al. (1994) estudou os efeitos da proporção de monômero no látex de estireno-butadieno (SBR) e látex de poliacetato de vinila-etileno (EVA) adicionados em argamassas de cimento. O autor constatou que a proporção de monômero tem a mesma influência que a relação polímero/cimento, sendo que o melhor desempenho do látex de poliacetato de vinila-etileno (EVA) com relação à resistência à compressão é obtido com a proporção de 13% de etileno. Para a argamassa de cimento modificada com látex estireno-butadieno, o desempenho melhora com o aumento da proporção de estireno.

Módulo de elasticidade.

TEZUKA (1988) mostra que, de modo geral, o módulo de elasticidade de argamassas modificadas com polímero corresponde a 70% do módulo de elasticidade da argamassa convencional, feita com os mesmos materiais. Os estudos de SHIROISHIDA (1983) in CHANDRA et al. (1994) mostram que o valor do módulo de elasticidade diminui com o aumento do teor de látex e, para uma mesma relação polímero/cimento, varia com o tipo de látex.

Retração.

A retração em argamassas modificadas com polímero varia de acordo com o tipo de polímero e a relação polímero/cimento utilizados.

Estudos de DOW CHEMICAL Co. (1973) in CHANDRA et al. (1994) demonstram que a retração tende a ser menor com o aumento da relação látex-cimento, exceto para o acetato de polivinila (PVAC), a borracha natural (NR) e o Policloropreno (CR), que apresentam retrações maiores quando comparadas à argamassa sem látex. A retração exagerada na argamassa modificada com látex polímero PVAC é causada provavelmente pela evaporação de grande parte da água do látex.

Absorção de água.

TYLER et al. (1961) in CHANDRA et al. (1994) relatam que argamassas modificadas com polímero apresentam uma estrutura em que os vazios existentes podem ser preenchidos pelo látex polímero ou selados por um filme contínuo. De maneira geral, o efeito selante do látex polímero aumenta para uma maior relação polímero/cimento. Este fato reflete-se na baixa absorção de água das argamassas modificadas com polímero quando comparadas à argamassas de cimento convencionais.

Resistência química.

A resistência química das argamassas modificadas com látex polímero depende do tipo de polímero, relação polímero/cimento e da natureza dos agentes químicos. SOLOMATOV (1967) in CHANDRA et al. (1994) constatou que argamassas modificadas com látex polímero acetato de polivinila (PVAC) não resistem adequadamente aos ácidos e álcalis, bem como à umidade. Mas são estáveis com relação aos solventes orgânicos.

Portanto, adições de materiais tais como sílica ativa e látex polímeros apresentam influência significativa sobre a microestrutura e propriedades de argamassas simples de cimento Portland. Assim, utilizando-se tais adições pode ser possível o desenvolvimento de argamassas de assentamento com propriedades físicas e mecânicas modificadas, visando estudar sua influência sobre as propriedades da alvenaria. Tais materiais são de fácil aquisição e adequam-se à realidade da construção civil brasileira.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1. Materiais utilizados

Utilizou-se cimento Portland CP I-S-32, que apresenta adição unicamente de 5% de materiais carbonáticos. O cimento foi obtido junto à indústria nacional e proveniente de um mesmo lote de produção. A caracterização física e química do cimento Portland empregado, fornecida pela indústria fabricante, é apresentada nas tabelas 3.1 e 3.2, respectivamente. O ensaio de massa unitária do cimento Portland, em analogia à NBR 7251 (1987), foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil.

Utilizou-se cal hidratada classificada conforme a NBR 7175 (1992) como sendo da classe CH III, devido ao teor de CO_2 ser inferior a 15 % mas superior a 7 %. A cal hidratada foi obtida junto ao comércio da região de Florianópolis, SC, sendo proveniente de um mesmo lote de produção. A caracterização física e química da cal hidratada foi fornecida pela indústria fabricante, sendo apresentada na tabelas 3.3 e 3.4. O ensaio de massa unitária da cal hidratada, em analogia à NBR 7251 (1987), foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil.

Tabela 3.1. Caracterização física do cimento Portland.

Ensaio físico	Média	Sd
Massa específica [NBR 6474(1984)] (g/cm^3)	3,12	0,05
Massa unitária [NBR 7251 (1987)-analogia] (g/cm^3)	1,01	0,02
Finura [NBR 11579 (1991)] (% retida)		
- peneira n° 200	1,75	0,22
- peneira n° 325	9,01	1,15
Área específica-Blaine [NBR 7224 (1996)] (m^2/kg)	315	7,0
Tempo de pega (min)		
- Início [NBR 11581 (1991)]	206	8,8
- Final [NBR 11581 (1991)]	305	verif
Expansibilidade [NBR 11582 (1991)] (mm)	1,00	0,41
Resistência à compressão [NBR 7215 (1991)] (MPa)		
- 1 dia	13,6	0,40
- 3 dias	26,10	0,80
- 7 dias	31,40	0,80
- 28 dias	39,90	0,60

Tabela 3.2. Caracterização química do cimento Portland.

Ensaio químico	Média	Sd
Al_2O_3 (%)	4,31	0,08
SiO_2 (%)	19,81	0,26
Fe_2O_3 (%)	2,60	0,05
CaO (%)	61,47	0,21
MgO (%)	5,09	0,33
SO_3 (%)	2,51	0,07
Perda ao fogo (%)	3,26	0,20
CaO Livre (%)	1,78	0,11
Resíduo Insolúvel (%)	0,63	0,10
Equivalente Alcalino em Na_2O (%)	0,67	0,03

Tabela 3.3. Caracterização física da cal hidratada.

Ensaio físico	Média
Massa específica [NBR 6474(1984)] (g/cm^3)	2,51
Massa unitária [NBR 7251 (1987)-analogia] (g/cm^3)	0,72
Finura [NBR 9289 (1986)] (% retida)	
- peneira nº 30 (0,600 mm)	$\leq 0,5$
- peneira nº 200 (0,075 mm)	$\leq 15,0$
Estabilidade [NBR 9205 (1985)]:	ausência cavidades ou protuberâncias
- fator água/cal, em massa (g./g.)	0,52
- consistência obtida na pasta (mm.)	200
Plasticidade [NBR 9206 (1986)]	164
Retenção de água [NBR 9290 (1986)]	73
- fator água/cal em massa (g./g.)	0,820
- consistência obtida na pasta (mm)	208
- retenção de água	≥ 70
Capacidade de incorporação de areia [NBR 9207 (1985)]	
- traço (cal:areia) em massa	1,00:2,20
- fator água/cal, em massa (g/g)	0,714
- consistência obtida na argamassa (mm)	206
- altura da argamassa não extrudada (cm)	3,7

Tabela 3.4. Caracterização química da cal hidratada.

Ensaio químicos [NBR 7175 (1992)]	Média
Umidade (%)	0,1
Perda ao Fogo	20,0
Insolúveis em ácido clorídrico	5,0
Óxidos de ferro e alumínio ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$)	0,99
Óxido de cálcio (CaO)	40,0
Óxido de magnésio (MgO)	28,0
Anidrido sulfúrico (SO_3)	0,04
Anidrido Carbônico (CO_2)	$\leq 15,0^*$
Óxidos não hidratados	$\leq 15,0$
Óxidos totais na base de não voláteis (CaO + MgO)	$\geq 88,0^{**}$

* no depósito

** Valores calculados a partir de análise química considerando como não voláteis: % de Umidade + % de Perda ao fogo.

A areia utilizada foi obtida junto ao comércio da região de Florianópolis, SC, sendo proveniente de uma mesma carga retirada de barranco de rio. Inicialmente, a areia foi lavada e seca em estufa ($105 \pm 5^\circ \text{C}$), por no mínimo 24 horas, e posteriormente resfriada até temperatura ambiente. A lavagem da areia foi feita com o objetivo de eliminar impurezas tais como materiais carbonosos, torrões de argila, materiais pulverulentos e sais solúveis em água.

Para utilizar-se uma areia com granulometria constante adotou-se uma metodologia para composição de frações granulométricas. As frações foram obtidas por peneiramento, utilizando-se as peneiras da série normal da ABNT com abertura de malha de 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm e fundo.

Após a separação das frações fez-se a mistura destas, pesando-as de modo a obter-se a distribuição granulométrica mostrada na Tabela 3.5 e na Figura 3.1. A curva de distribuição granulométrica enquadra-se nos limites estabelecidos pela norma britânica BS 1200 (1976) - Sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork,

blockwalling and masonry -, a qual determina a faixa de curvas de distribuição granulométrica adequadas para o emprego em argamassas de assentamento. De acordo com a NBR 7211 (1983), o material utilizado enquadra-se nos limites granulométricos da areia média.

Tabela 3.5. Composição granulométrica da areia utilizada - NBR 7217 (1987).

Peneira (mm)	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada	Módulo de finura [NBR 7217 (1987)]	Dimensão máxima (mm) [NBR 7217 (1987)]
0,15	97,84	2,16	2,68	4,8
0,3	80,37	19,63		
0,6	49,58	50,42		
1,2	20,7	79,3		
2,4	6,1	93,9		
4,8	0	100		

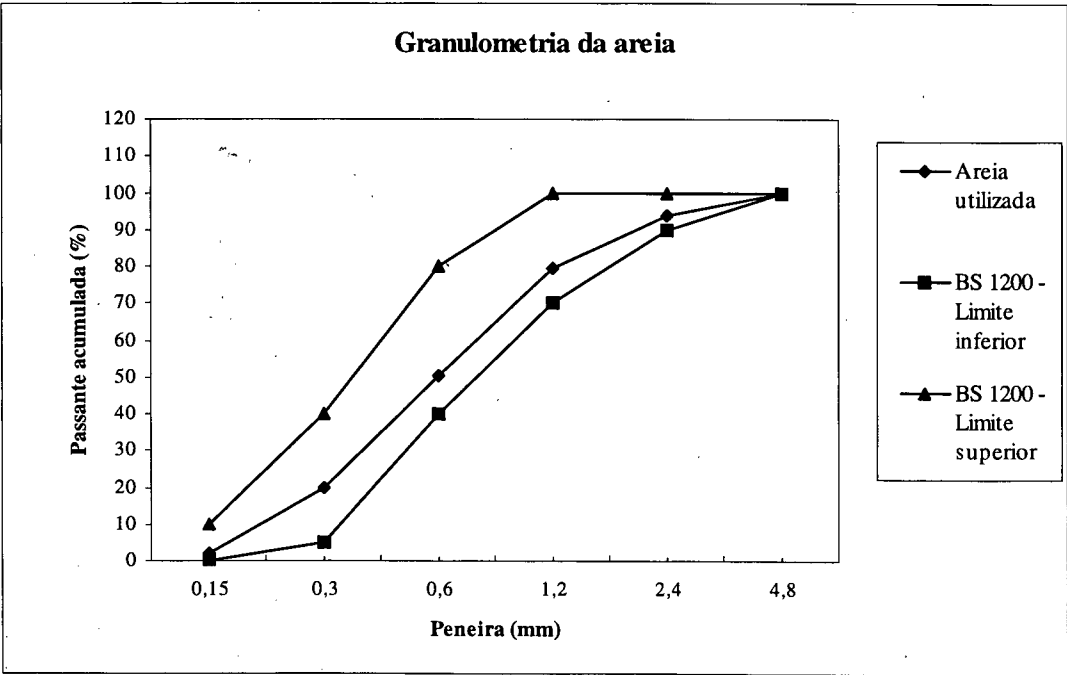


Figura 3.1. Comparação entre a composição granulométrica da areia utilizada e os limites granulométricos estabelecidos pela norma BS 1200 (1976).

As porções de areia composta (aproximadamente 3 kg, ou seja, quantidade suficiente para produção do número de corpos-de-prova de argamassa desejados) eram colocadas novamente na estufa ($105 \pm 5^\circ \text{C}$) para secagem, por no mínimo 24 horas. Antes da produção das argamassas, as porções de areia eram resfriadas até temperatura ambiente em dessecador com sílica-gel, para evitar absorção de umidade do ar. Além disso, procedia-se a mistura das frações de cada uma das porções de areia com misturador mecânico durante 60 segundos, a fim de obter-se homogeneização adequada. A caracterização da areia é apresentada na tabela 3.6.

Tabela 3.6. Caracterização física da areia utilizada.

Ensaio [Norma]	Média	Desvio Padrão
Massa específica [NBR 9776 (1987)] (g/cm^3)	2,62	0,03
Massa unitária [NBR 7251 (1987)] (g/cm^3)	1,45	0,03
Teor de argila em torrões e materiais friáveis [NBR 7218 (1987)] (%)	0,68	0,11
Teor de material pulverulento [NBR 7219 (1987)] (%)	0,87	0,16
Teor de matéria orgânica [NBR 7220 (1987)] (ppm)	< 300	

De acordo com os resultados dos ensaios para determinação dos teores de argila em torrões e materiais friáveis, de material pulverulento e de matéria orgânica, o agregado miúdo empregado atende as especificações das normas, mostradas na tabela 3.7.

Tabela 3.7. Limites de impurezas para agregado miúdo.

% argila em torrões [NBR 7218 (1987)]	< 1,5%
% material pulverulento [NBR 7219 (1987)]	< 5,0%
Matéria orgânica [NBR 7220 (1987)]	< 300 ppm

A sílica ativa utilizada foi fornecida por uma indústria nacional, sob forma de pó, não compactada. Os sacos do material eram provenientes de um mesmo lote de produção. Os resultados da caracterização físico-química foram fornecidos pela indústria, sendo apresentados na tabela 3.8.

Tabela 3.8. Caracterização físico-química da sílica ativa.

Ensaio Físico	Média
Massa específica absoluta (g/cm^3)	2,2
Superfície específica (m^2/g)	19,0
Tamanho médio das partículas (μm)	0,35
Umidade (%)	1,13
pH	8,0
Ensaio Químico	
Óxido de Silício (SiO_2)	94,34
Óxido de Alumínio (Al_2O_3)	0,06
Óxido de Ferro (Fe_2O_3)	0,14
Óxido de Cálcio Total (CaO)	0,30
Óxido de Magnésio (MgO)	0,38
Óxido de Sódio (Na_2O)	0,20
Óxido de Potássio (K_2O)	1,40
Perda ao fogo	2,68

O látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC) foi obtido junto à representante comercial de indústria estrangeira, sob forma de emulsão em pó, proveniente de um mesmo lote de produção. Os resultados da caracterização física e química foram fornecidos pela indústria, sendo apresentados na tabela 3.9.

Tabela 3.9. Caracterização físico-química do látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC).

Especificação	
Colóide de proteção	Álcool de polivinila
Teor de sólidos (DIN 53 189)	$99 \pm 1 \%$
Teor de cinza (30 min à 1000°C)	$13 \pm 2 \%$
Propriedades do pó	
Aparência	Pó branco
Massa específica aparente (DIN 53 468)	$450 \pm 50 \text{ g/l}$
Tamanho das partículas	Máximo 2 % maior que $400 \mu\text{m}$
Propriedades da dispersão feita a partir do pó	
Tamanho predominante das partículas	$0,3 - 9 \mu\text{m}$
Temperatura mínima para formação do filme	0°C
Características do filme	Opaco, resiliente

A água utilizada na produção das argamassas foi destilada, a fim de evitar a influência de íons presentes na água canalizada sobre a microestrutura do material.

Os blocos de concreto utilizados no trabalho foram obtidos junto à empresa fabricante da região de Florianópolis, SC. Foi recebido um carregamento de 80 blocos de concreto, os quais foram utilizados ao longo de todo o programa experimental.

Com relação ao aspecto visual especificado na NBR 6136 (1982), os blocos recebidos não apresentavam defeitos sistemáticos, tais como trincas, rachaduras, quebras, superfícies irregulares ou deformações que impedissem seu emprego na função especificada. Além disso, as arestas, os vértices e a textura da superfície apresentavam-se íntegros.

As tolerâncias máximas de fabricação para os blocos de concreto especificadas na NBR 6136 (1982), mostradas na Tabela 3.10, foram satisfeitas.

Tabela 3.10. Tolerâncias máximas de fabricação para os blocos de concreto

Dimensão	Tolerância (mm)
Largura (L)	± 3
Altura (H)	± 3
Comprimento (C)	± 3
Desvio em relação ao esquadro (D)	3
Flecha (F)	3

As características físicas dos blocos de concreto utilizados na moldagem dos prismas são apresentadas nas Tabela 3.11 e 3.12.

Tabela 3.11. Dimensões dos blocos de concreto.

Dimensões (mm) - NBR 6136 (1982)					
Nominais			Reais		
C	L	H	C	L	H
390	140	190	392	141	190

Tabela 3.12. Características físicas dos blocos de concreto.

Característica	Média	Desvio padrão	Coef. Variação (%)
Área Líquida (cm ²) - NBR 12118 (1991)	316,78	0,92	0,29
Peso unitário (kg/m ³) - peso bloco seco/ volume seco	2120,02	31,7	1,49
Absorção em 24 horas (%) - NBR 12118 (1991)	6,24	0,54	8,65

As características mecânicas dos blocos de concreto com resistência característica à compressão (f_{bk}) de 12 MPa são apresentadas na Tabela 3.13.

Tabela 3.13. Características mecânicas dos blocos de concreto.

Característica	Média	Desvio padrão	Coef. Variação (%)
Resistência à tração indireta (MPa) - ASTM C1006 (1984)	1,62	0,11	6,79
Resistência à compressão na área bruta (MPa) - NBR 7184 (1982)	16,38	1,17	7,14
Resistência à compressão na área líquida (MPa) - NBR 7184 (1982)	28,58	2,04	7,14

O módulo de elasticidade secante dos blocos de concreto utilizados foi determinado através da equação do ACI Building Code 318, adotada para concretos de massa específica entre 1442 e 2483 kg/m³. Autores como HOLM (1978) utilizaram esta equação para determinar o módulo de elasticidade secante do bloco.

$$E_b = 0,0428.f_b^{1/2}.w_b^{1,5}$$

(3.1)

Onde: w_b = peso unitário do bloco, em kg/m³;
 f_b = resistência à compressão do bloco, em MPa;

A tabela 3.14 apresenta o valor de módulo de elasticidade dos blocos de concreto, determinado através da equação (3.1).

Tabela 3.14. Módulo de elasticidade dos blocos de concreto (equação 3.1).

Módulo de elasticidade do bloco (MPa)*	22334,94
--	----------

*Resistência do bloco na área líquida.

3.2. Conversão do traço de argamassa.

Adotou-se o traço 1:1:6 (cimento:cal:areia), em volume, o qual é recomendado pela BS 5628: Part 3 (1985) para o assentamento de unidades de alvenaria. O referido traço é empregado em obras de alvenaria estrutural da região de Florianópolis, SC, conforme estudos de FILOMENO (1993). Este traço em volume foi convertido para massa, a fim de não introduzir no processo variáveis oriundas de medições volumétricas imprecisas.

Para conversão do traço utilizou-se a seguinte expressão:

$$1 : \frac{V_{ch} \cdot \gamma_{ch}}{\gamma_c} : \frac{V_a \cdot \gamma_a}{(V_h/V_o) \cdot \gamma_c}$$

Onde:

V_{ch} = proporção de cal hidratada no traço da argamassa, em volume aparente (dm^3);

V_a = proporção do agregado miúdo no traço da argamassa, em volume aparente (dm^3);

γ_c = massa unitária do cimento, no estado solto (kg/dm^3);

γ_{ch} = massa unitária da cal hidratada, no estado solto (kg/dm^3);

γ_a = massa unitária do agregado miúdo, no estado seco e solto (kg/dm^3);

V_h/V_o = coeficiente médio de inchamento do agregado, conforme NBR 6467 (1985). No presente estudo $V_h/V_o = 1$, uma vez que a areia foi empregada no estado seco.

Convertendo-se o traço de volume para massa obtém-se as seguintes proporções entre os materiais: 1 : 0,71 : 8,61 (cimento:cal:areia)

3.3. Produção das argamassas.

Utilizou-se uma argamassadeira de eixo vertical para mistura das argamassas tanto com substituição de cimento Portland por sílica ativa como com adição de látex polímero.

A produção das argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa obedeceu o procedimento de mistura da NBR 13276 (1995), conforme descrito a seguir.

- Preparava-se uma argamassa de cal, com antecedência de 48 horas da utilização;
- misturava-se no recipiente do misturador, durante 4 minutos em velocidade lenta, a areia, a cal e a água nas quantidades definidas pelo traço,;
- pesava-se a argamassa de cal preparada e deixava-se no interior de bandejas plásticas cobertas com lona, até a utilização;
- decorridas 48 horas, pesava-se novamente o material preparado e acrescentava-se a água perdida por evaporação;
- acrescentava-se o cimento e a sílica ativa na quantidade definida pelo traço;
- homogeneizava-se o material no recipiente do misturador, durante 4 minutos em velocidade lenta.

Para produção das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno preparava-se, inicialmente, uma argamassa de cal com antecedência de 48 horas da utilização, conforme procedimento de mistura descrito a seguir.

- Misturava-se no recipiente do misturador, durante 4 minutos em velocidade lenta, 20% da quantidade total de areia, toda a cal e parte da água, de acordo com as quantidades definidas pelo traço;

- pesava-se a argamassa de cal preparada e deixava-se no interior de bandejas plásticas cobertas com lona;

A pré-mistura dos materiais secos com a emulsão em pó foi feita conforme o procedimento descrito a seguir.

- Colocava-se o polímero e 80% do total de areia no interior do recipiente do misturador mecânico;
- misturava-se os materiais durante 60 segundos para homogeneização, em velocidade lenta e cobrindo o misturador com pano úmido;
- acrescentava-se o cimento Portland no recipiente do misturador mecânico;
- misturava-se durante 2 minutos para homogeneização, em velocidade lenta e cobrindo o misturador com pano úmido.

Homogeneizada a mistura dos materiais secos, seguiu-se o procedimento de mistura da NBR 14082 (1998) utilizado para argamassas com polímero, conforme descrito a seguir.

- Pesava-se novamente a argamassa de cal preparada e acrescentava-se a água perdida por evaporação;
- colocava-se em funcionamento o misturador mecânico em velocidade lenta;
- vertia-se o restante da quantidade total de água no fundo do recipiente de mistura;
- colocava-se a argamassa de cal preparada no interior do recipiente do misturador;
- adicionava-se o material seco no interior do recipiente de mistura de modo contínuo, dentro de um período de 30 segundos;
- misturava-se durante 30 segundos;

- desligava-se o misturador e raspava-se a pá e a superfície interna do recipiente, num intervalo de 60 segundos;
- misturava-se por mais 60 segundos;
- deixava-se o polímero em maturação, coberto com pano úmido durante 15 minutos;
- decorridos os 15 minutos, misturava-se por mais 15 segundos.

O índice de consistência da argamassa de referência preparada conforme procedimento de mistura da NBR 13276 (1995) foi fixado em 255 ± 10 mm, que é o índice de consistência padrão estabelecido pela referida norma. Determinou-se a quantidade de água necessária para obtenção deste índice de consistência, obtendo-se um fator água/cimento de 1,85.

Para comparação das propriedades das argamassas, manteve-se fixo o fator água/cimento em 1,85 tanto para as argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa como para aquelas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno.

As argamassas produzidas com substituição de cimento Portland por sílica ativa são mostradas na Tabela 3.15, mantendo-se o fator água/cimento constante e medindo-se a trabalhabilidade através do ensaio de índice de consistência da NBR 13276 (1995). A quantidade de cimento Portland substituído por sílica ativa foi calculada sobre o volume do mesmo.

Tabela 3.15. Argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa - Fator água/cimento constante.

Designação Argamassa	% substituição de cimento Portland por sílica ativa, em volume de cimento (%)	Fator água/ (cimento portland +sílica ativa)
S0	0,0	1,85
S1	10,0	1,85
S2	20,0	1,85

As argamassas produzidas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC) são mostradas na Tabela 3.16, mantendo-se o fator água/cimento constante e medindo-se a trabalhabilidade através do ensaio de índice de consistência da NBR 13276 (1995). A quantidade de látex polímero adicionada à argamassa foi calculada sobre a massa de cimento Portland.

Tabela 3.16. Argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno - fator água/cimento constante.

Designação Argamassa	% adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, sobre a massa de cimento (%)	Fator água/cimento
P0	0,0	1,85
P1	2,5	1,85
P2	5,0	1,85

Buscando comparar as propriedades das argamassas a um mesmo nível de trabalhabilidade, fixou-se o índice de consistência em 255 ± 10 mm para as argamassas com adição de látex polímero EVLC, quantificando-se a água necessária para obtenção desta consistência. Tais argamassas são mostradas na Tabela 3.17.

Tabela 3.17. Argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno - índice de consistência constante.

Designação Argamassa	% adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, sobre a massa de cimento (%)	Índice de consistência
P3	0,0	255 ± 10 mm
P4	2,5	255 ± 10 mm
P5	5,0	255 ± 10 mm

3.4. Execução dos prismas.

Define-se prisma de alvenaria estrutural como sendo um corpo-de-prova constituído pela justaposição de dois ou mais blocos com argamassa, a fim de simular uma parede feita com os mesmos componentes e processos de produção.

Moldaram-se prismas de 3 blocos, sendo a espessura da junta mantida constante em 10 mm. Os blocos de topo foram capeados com pasta de cimento, no dia anterior ao assentamento. As verificações de nível e prumo foram feitas com nível de bolha.

Os procedimentos para produção das argamassas foram os mesmos relatados em 3.3. A Tabela 3.18 mostra a quantidade de prismas executados para cada tipo de argamassa.

Tabela 3.18. Quantidade de prismas executados para cada tipo de argamassa.

Designação da argamassa	Número de prismas
S0 – Referência (fator a/c = 1,85)	5
S2 - 20 % sílica ativa (fator a/c = 1,85)	5
P2 - 5,0 % EVLC (fator a/c = 1,85)	5
P4 - 5,0 % EVLC (IC = 255 ± 10 mm)	5

3.5. Ensaaios com as argamassas.

Para as argamassas com substituição de cimento por sílica ativa e aquelas com adição de látex polímero EVLC, produzidas com fator água/cimento constante, procederam-se análises microestruturais através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). O equipamento utilizado pertence ao Laboratório de Materiais (LabMat) do departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.

Procederam-se demais ensaios normalizados a fim de obter as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.

No estado fresco realizaram-se os seguintes ensaios:

- Índice de consistência: NBR 13276 (1995);
- Densidade de massa e teor de ar incorporado: NBR 13278 (1995);
- Retenção de água: NBR 13277 (1995);

No estado endurecido realizaram-se os seguintes ensaios, aos 28 dias:

- Resistência à compressão: NBR 13279 (1995);
- Resistência à tração por compressão diametral: em analogia a NBR 7222 (1983);
- Módulo de deformação Estática: em analogia a NBR 8522 (1984);
- Coeficiente de Poisson;
- Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica: NBR 9778 (1987).

Moldaram-se corpos-de-prova de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura para execução dos ensaios no estado endurecido. Para as argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa utilizou-se adensamento feito em 3 camadas de 20 golpes cada, com soquete padrão conforme NBR 7215 (1991). Para as argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, o adensamento foi feito por acomodação das camadas com o uso de soquete, conforme estabelece a NBR 13279 (1995) para argamassas com teor de ar incorporado superior a 8 %, determinado segundo a NBR 13278 (1995).

Os corpos-de-prova permaneceram, inicialmente, 48 horas nos moldes em câmara com umidade relativa do ar superior a 95%. Após, os corpos-de-prova foram desmoldados

e permaneceram ao ar do laboratório até a idade de ensaio, conforme recomendações da NBR 13279 (1995) e NBR 7215 (1991) para argamassas que contenham cal.

No ensaio de resistência à compressão, módulo de deformação e coeficiente de Poisson adotou-se a velocidade de carregamento de 0,025 MPa/s, uma vez que a velocidade recomendada pela NBR 13279 (1995) de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s e pela NBR 8522 (1984) de $0,5 \pm 0,05$ MPa/s são muito elevadas para as argamassas ensaiadas.

Já no ensaio de resistência à tração por compressão diametral, adotou-se a velocidade de carregamento de 0,005 MPa/s, visto que a velocidade de crescimento constante da tensão de tração de $0,05 \pm 0,02$ MPa/s especificada pela NBR 7222 (1983) é muito elevada. A velocidade de carregamento recomendada pela NBR 7222 (1983) adequa-se às argamassas simples de cimento e concretos que apresentam resistências superiores às de argamassas de cimento e cal.

Na determinação do módulo de deformação estática, em analogia a NBR 8522 (1984), utilizaram-se duas bases de medida ao longo de geratrizes igualmente espaçadas no perímetro da seção transversal do corpo-de-prova de 5 cm de diâmetro.

O comprimento mínimo destas bases de medida deve ser três vezes a dimensão máxima do agregado ou $2/3$ do diâmetro do corpo-de-prova, prevalecendo o que for maior, e o comprimento máximo igual a metade da altura do corpo-de-prova. Para as argamassas utilizadas no presente estudo, o diâmetro máximo do agregado foi de 4,8 mm. Logo, três vezes este valor resulta em 14,4 mm. Já $2/3$ do diâmetro do corpo-de-prova (5 cm) resulta em 33,33 mm. Assim adotou-se que as bases de medida teriam um comprimento de 35 mm. Para medição do deslocamento longitudinal utilizaram-se transdutores de deslocamento (LVDTs) conectados a medidor analógico.

Para determinação do coeficiente de Poisson, foi colado extensômetro elétrico "strain-gauge" em posição perpendicular aos LVDTs, medindo-se, assim, a deformação no sentido transversal dos corpos-de-prova. Os "strain gauges" foram ligados a um equipamento para armazenagem de dados (data log Hp), sendo este conectado a um

microcomputador. A posição dos LVDTs e dos strain gauges nos corpos-de-prova é mostrada na figura 3.2.

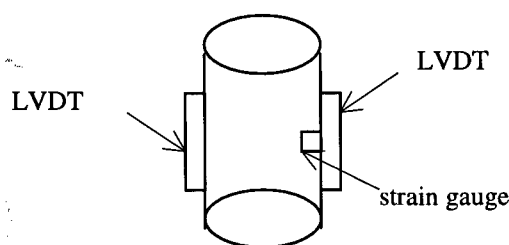


Figura 3.2. Posição dos LVDTs e dos strain gauges nos corpos-de-prova.

Adotou-se o plano de carga tipo II da NBR 8522 (1984), procedendo-se inicialmente a compatibilização das deformações das duas bases de medida. Fez-se carregamento preliminar até 10% da carga prevista de ruptura, mudando-se a posição relativa do corpo-de-prova aos pratos da prensa de modo que as deformações não apresentassem desvios superiores a 20 % da maior leitura.

3.6. Ensaio com prismas de alvenaria.

Para obter a resistência última da alvenaria, foram ensaiados à compressão três dos prismas moldados para cada tipo de argamassa, de acordo com a NBR 7184 (1982). A velocidade de carregamento foi a recomendada pela referida norma.

No ensaio de módulo de elasticidade utilizaram-se dois dos prismas moldados para cada tipo de argamassa. Utilizou-se o extensômetro designado por "demec gauge" para medição do deslocamento longitudinal. Para tanto, foram coladas pastilhas nos prismas segundo as bases de medida mostradas na figura 3.3.

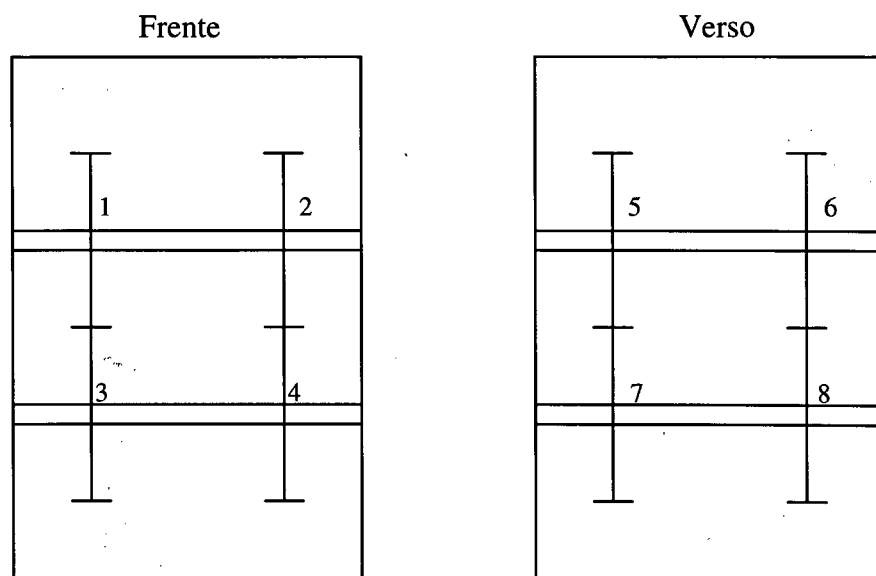


Figura 3.3. Bases de medida nos prismas de alvenaria.

A velocidade de carregamento e os incrementos de carga seguiram recomendações da BS 1881 - parte 121 (1983).

Avaliou-se visualmente o tipo de ruptura, considerando-se a relação entre os módulos de elasticidade dos materiais (E_a/E_b), o início provável da fissuração e a proporção da carga em relação à resistência de ruptura.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa.

4.1.1. Resultados da análise microestrutural com microscópio eletrônico de varredura (MEV), aos 28 dias.

As amostras para análise no microscópio eletrônico de varredura foram retiradas da parte central dos corpos de prova rompidos à compressão. Inicialmente, fez-se vácuo nas amostras, para em seguida serem metalizadas com uma camada monomolecular de ouro.

A análise da argamassa de referência S0, sem substituição de cimento Portland por sílica ativa (fator água/cimento = 1,85 e procedimento de mistura conforme NBR 13276(1995)), no microscópio eletrônico de varredura é apresentada nas figuras a seguir.

Na figura 4.1 tem-se uma visão geral da argamassa, visualizando-se a pasta de aglomerante, os agregados e os poros, ou seja, os vazios de ar.

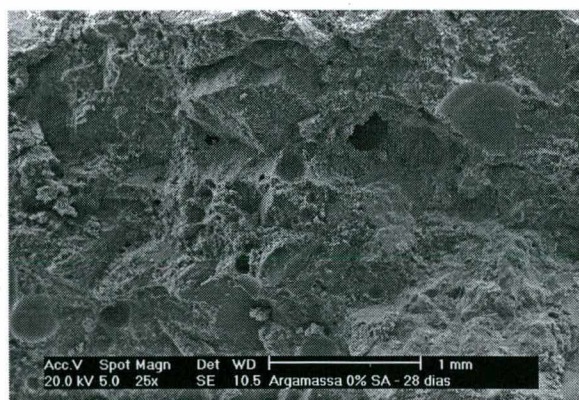


Figura 4.1 - Visão geral da argamassa de referência, aos 28 dias.

Nas figuras 4.2 e 4.3 nota-se três morfologias parecidas com aquelas identificadas por DIAMOND (1986), a estrutura acicular-fibrosa do C-S-H tipo I, reticulado ou em colméia do C-S-H tipo II e mais densificada, quase esferas, do C-S-H tipo III. Os C-S-Hs tipos I e II se formam nas primeiras idades no interior dos vazios capilares. O C-S-H tipo III se forma nas idades mais avançadas, por topoquímica.



Figura 4.2. Pasta de aglomerante na argamassa de referência, aos 28 dias.

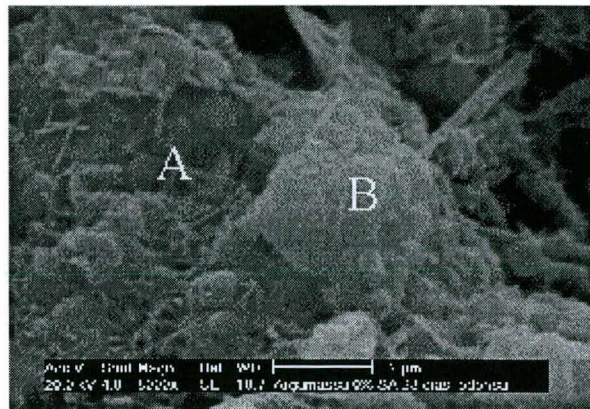


Figura 4.3. Pasta de aglomerante na argamassa de referência, aos 28 dias.

Segundo os espectros EDAX, os C-S-H apresentam um elevado teor de cálcio: o C-S-H tipo II (zona A da figura 4.3) com uma relação $\text{Ca/Si} \cong 3$ e o C-S-H tipo III (zona B da figura 4.3) com uma relação $\text{Ca/Si} \cong 2,8$, indicando a presença de hidróxido de cálcio intimamente misturado.

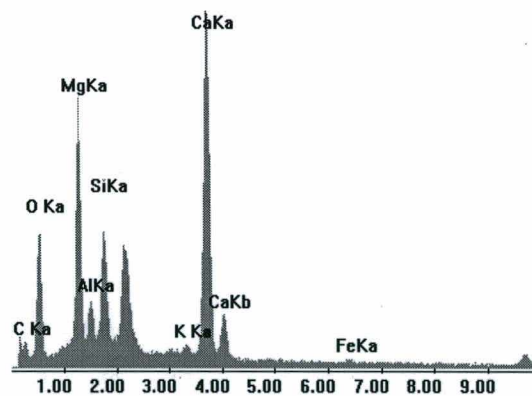


Figura 4.4. Análise EDAX do C-S-H tipo II (zona B da figura 4.3 - $\text{Ca/Si} \cong 3$) na pasta da argamassa de referência, aos 28 dias.

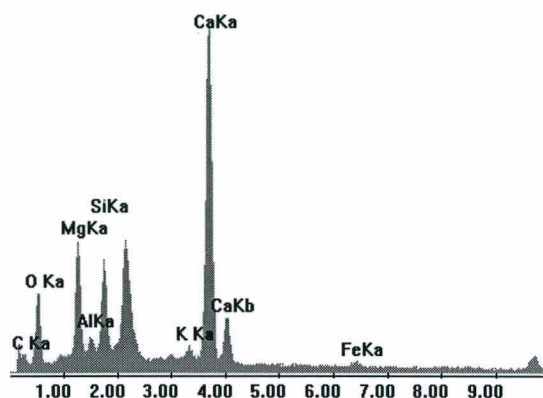


Figura 4.7. Análise EDAX da pasta próxima à interface com o agregado na argamassa de referência, aos 28 dias.

A figura 4.8 mostra a análise EDAX da superfície de um poro, constatando-se uma relação Ca/Si de aproximadamente 2,5.

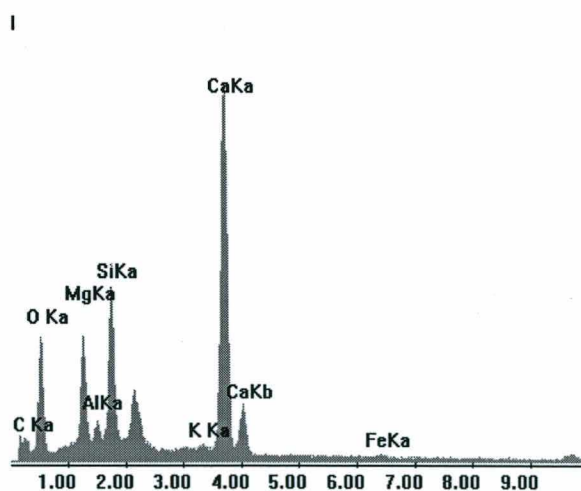


Figura 4.8. Análise EDAX da superfície de um poro na argamassa de referência, aos 28 dias ($\text{Ca/Si} \cong 2,5$).

Na análise com microscópio eletrônico de varredura da argamassa com substituição de 10 % de cimento Portland por sílica ativa (fator água/cimento = 1,85 e procedimento de mistura conforme NBR 13276(1995)) obteve-se os resultados mostrados nas figuras a seguir.

A figura 4.9 mostra uma visão geral da argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, percebendo-se as regiões correspondentes à pasta de aglomerante, os agregados e os poros.

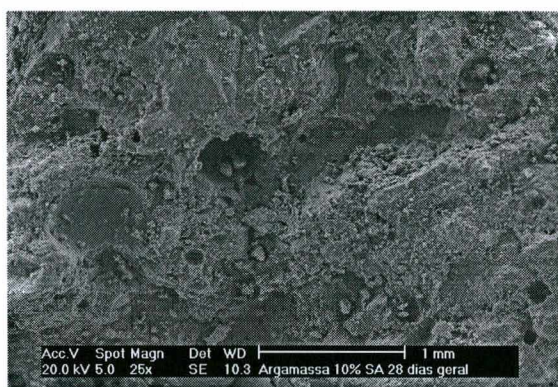


Figura 4.9 - Visão geral da argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.

Analisando-se a figura 4.10 percebe-se que a pasta de aglomerante é muito mais densa que a pasta da argamassa sem sílica ativa, aos 28 dias (figura 4.2). Os vazios capilares são menores.

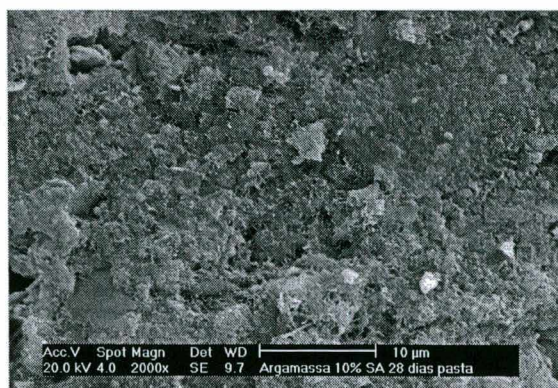


Figura 4.10. Pasta na argamassa com substituição de 10% de cimento por sílica ativa, aos 28 dias.

Na figura 4.11 aparecem novamente as duas morfologias de C-S-H: tipo II e tipo III.

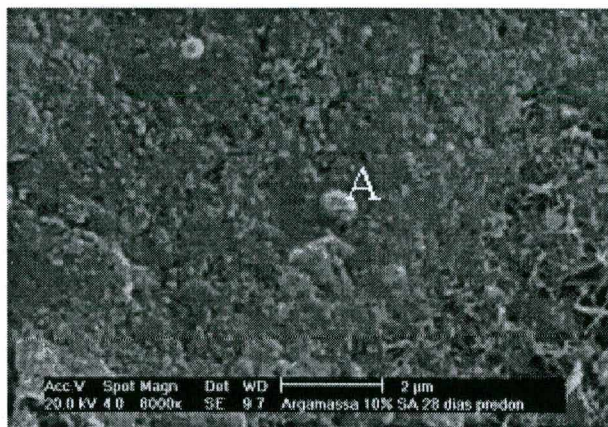


Figura 4.11. Pasta de aglomerante na argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.

A figura 4.12 mostra a análise EDAX do C-S-H tipo III (zona A da figura 4.11), com uma relação Ca/Si de 2,7. Houve uma ligeira diminuição da relação Ca/Si, comparando-se com a argamassa sem sílica ativa.

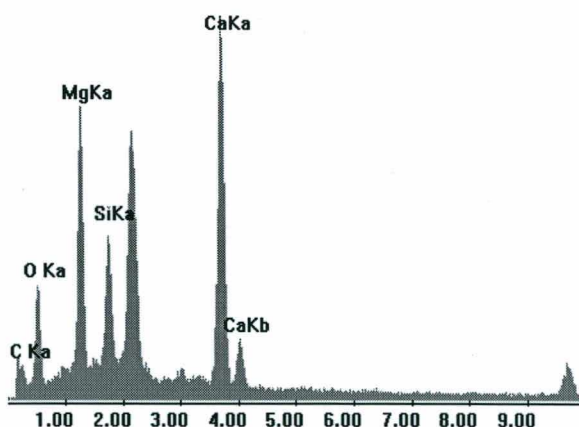


Figura 4.12. Análise EDAX do C-S-H tipo III (zona A da figura 4.11) na pasta da argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.

A figura 4.13 mostra a interface pasta de aglomerante-agregado na argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa

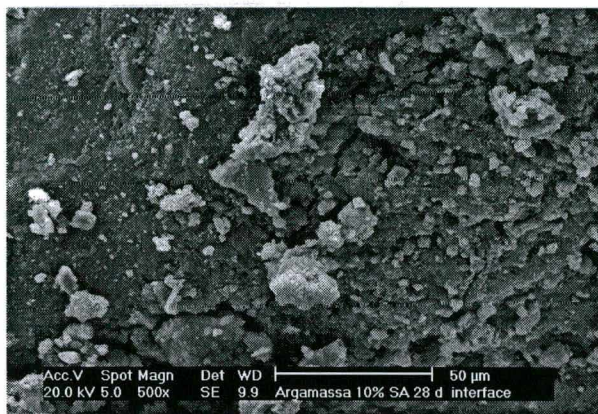


Figura 4.13. Interface pasta de aglomerante-agregado na argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.

A figura 4.14 apresenta a análise EDAX da pasta na região próxima ao agregado, constatando-se uma relaçãoCa/Si de aproximadamente 2,5.

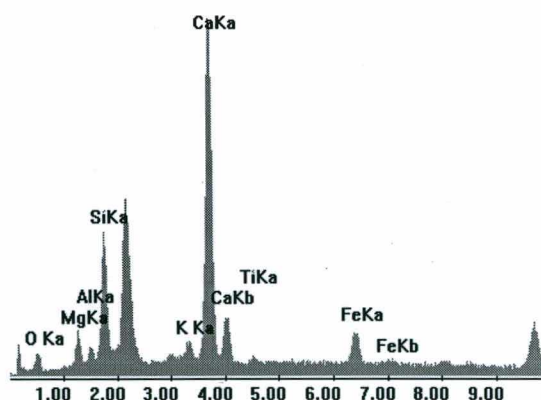


Figura 4.14. Análise EDAX da pasta na região próxima ao agregado ($\text{Ca/Si} \cong 2,5$) para a argamassa com substituição de 10% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.

Os resultados da análise com microscópio eletrônico de varredura da argamassa com substituição de 20% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias (fator água/cimento = 1,85 e procedimento de mistura conforme NBR 13276(1995)), são mostrados nas figuras a seguir.

A figura 4.15 apresenta uma visão geral da argamassa com substituição de 20% de cimento Portland por sílica ativa.

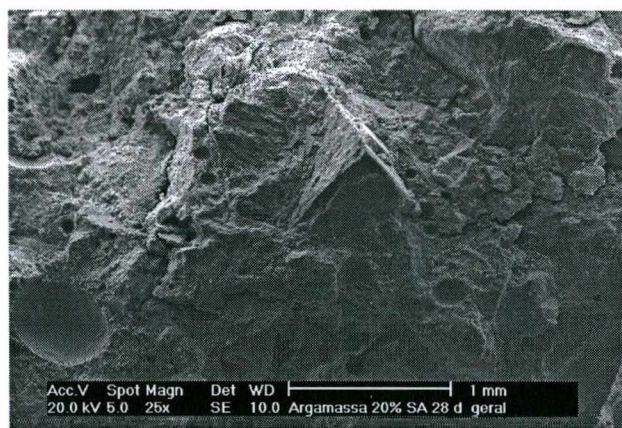


Figura 4.15. Visão geral da argamassa com substituição de 20% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.

A figura 4.16 mostra que a pasta de aglomerante se densifica e se concentra em Silício (Si) com a substituição do cimento Portland por sílica ativa, uma vez que na análise EDAX da zona A da figura 4.16, mostrada na figura 4.17, a relação Ca/Si é de aproximadamente 0,9.

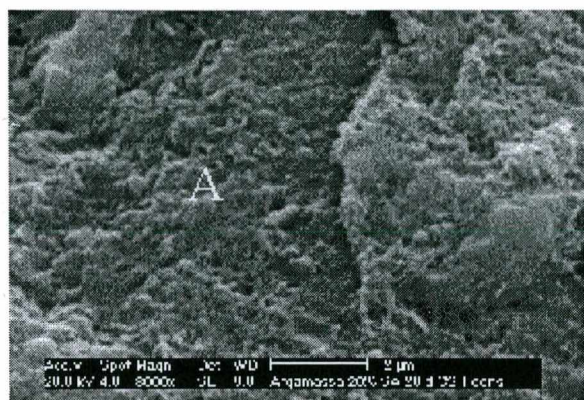


Figura 4.16. Pasta de aglomerante na argamassa com substituição de 20% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.

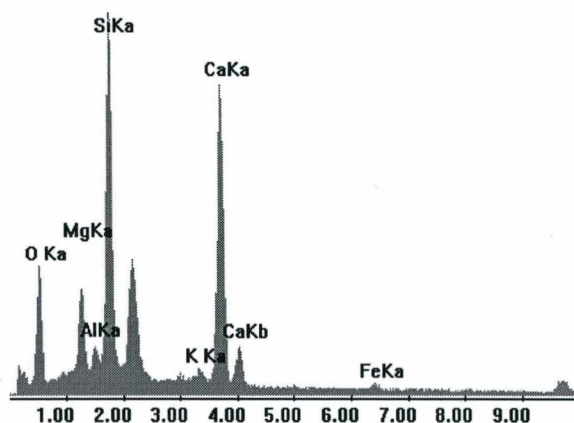


Figura 4.17. Análise EDAX da pasta de aglomerante (zona A da figura 4.16) na argamassa com substituição de 20% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.

Na figura 4.18, a "fronteira" pasta-agregado é difícil de ser observada, devido a densidade da pasta. Conforme verificado para as demais argamassas, a análise EDAX da figura 4.19 revela que a relação Ca/Si desta região ($\cong 1$) é um pouco maior do que a verificada para o restante da pasta.

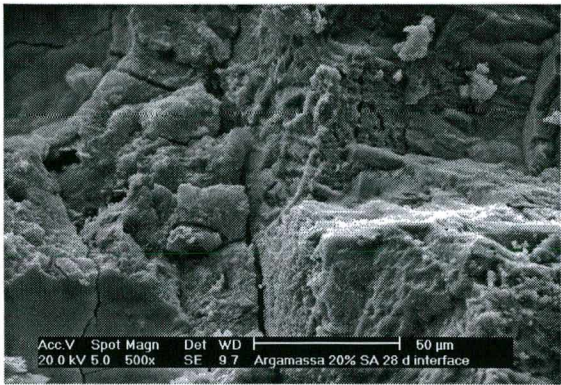


Figura 4.18. Interface pasta de aglomerante-agregado na argamassa com substituição de 20% de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias.

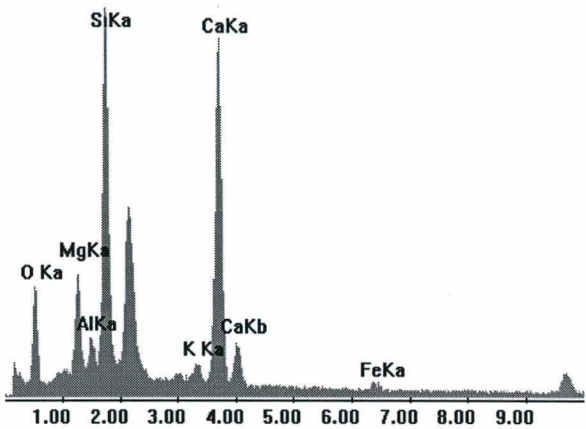


Figura 4.19. Análise EDAX da pasta próxima a interface com o agregado na argamassa com substituição de 20% de cimento por sílica ativa, aos 28 dias.

A tabela 4.1 resume as relações Ca/Si do gel de C-S-H, medidas pela microsonda EDAX em três zonas específicas das argamassas, aos 28 dias.

Tabela 4.1. Relações Ca/Si do C-S-H em três zonas das argamassas

Região da argamassa	0 % de s.a.	10 % de s.a.	20 % de s.a.
Pasta	3	2,7	0,9
Superfície do poro	2,5	-	-
Interface pasta-agregado	3,6	2,5	1

Onde: s.a. = sílica ativa

Tal como o comportamento verificado por MONTEIRO (1993) para argamassas simples de cimento Portland, sem cal hidratada, o C-S-H formado enriquece-se em Silício (Si) quando a quantidade de sílica ativa aumenta.

Variando-se o teor de sílica ativa a composição do C-S-H é alterada da mesma forma, mas de maneira diferenciada em função da região na argamassa: na pasta, na superfície dos poros ou na interface pasta-agregado.

Apesar do número reduzido de amostras, observou-se que, para um teor de sílica ativa dado, o C-S-H da superfície dos poros apresenta uma tendência em concentrar-se mais em Si do que o C-S-H da pasta. Ao contrário do C-S-H da interface que torna-se mais pobre em Si do que na pasta. Devido ao efeito de parede, o hidróxido de cálcio produzido pela hidratação do cimento precipita sempre em maiores quantidades na interface pasta-agregado, aumentando então a relação Ca/Si do C-S-H formado.

Segundo autores como TAYLOR (1992), MALHORTA et al. (1996) e DIAMOND (1986), em argamassas simples de cimento Portland (sem cal hidratada) podem ser encontrados em coexistência C-S-H tipo I (“acicular”), C-S-H tipo II (“colméia”), C-S-H tipo III (“compacto”) e grandes cristais hexagonais de hidróxido de cálcio. Na argamassa de cimento e cal sem sílica ativa (referência - S0), constatou-se efetivamente os três tipos de C-S-H (figuras 4.2 e 4.3) assim como pequena quantidade de hidróxido de cálcio (vindo da hidratação do cimento), sendo este último menos desenvolvido e cristalizado do que em argamassas simples de cimento. O hidróxido de cálcio pode ser visualizado na zona A da figura 4.6.

TAYLOR (1992) e MALHORTA et al. (1996) relatam que, em argamassas simples de cimento Portland com sílica ativa, qualquer que seja a idade somente o C-S-H tipo III (“compacto”) se forma e que o hidróxido de cálcio na forma de grande placas hexagonais nunca foi observado.

Para as argamassas mistas de cimento e cal com sílica ativa (S1 e S2) caracterizadas neste trabalho, também não foi constatada a presença de hidróxido de cálcio em grande placas hexagonais. Isto mostra que o hidróxido de cálcio formado pela hidratação do cimento reage com a sílica ativa logo após sua formação e (ou) não há espaço suficiente para o mesmo crescer em grandes placas devido a densificação da pasta. Aos 28 dias, foram identificados os C-S-H tipos I e II coexistindo com o tipo III (figuras 4.11 e 4.16).

4.1.2. Resultados dos ensaios com as argamassas no estado fresco.

4.1.2.1. Trabalhabilidade - Índice de consistência.

Os valores obtidos nos ensaios de índice de consistência para as argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa, mantendo-se constante o fator água/cimento em 1,85, são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Valores de índice de consistência para as argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa - fator a/c = 1,85.

Teor de sílica ativa (%)	Fator a/c	Índice de consistência (mm)	Desvio padrão (mm)	Coefficiente variação (%)
0	1,85	259,28	5,28	2,04
10	1,85	239,53	2,11	0,88
20	1,85	228,57	4,83	2,12

O índice de consistência fornece uma medida da trabalhabilidade das argamassas no estado fresco, ou seja, a facilidade de manuseio e aplicação da argamassa. A trabalhabilidade da argamassa é uma propriedade fundamental para o assentamento de unidades de alvenaria.

Conforme mostra a análise estatística dos dados apresentada no Anexo A, há uma diminuição significativa do índice de consistência com o aumento do teor de substituição de cimento por sílica ativa.

Tal comportamento foi verificado por autores tais como MALHORTA et al. (1996) para argamassas simples de cimento. O referido autor explica a diminuição da trabalhabilidade como sendo decorrente da elevada superfície específica dos grãos esféricos e microscópicos de sílica ativa, reduzindo a quantidade de água excedente para um mesmo fator água/cimento e, conseqüentemente, o seu efeito lubrificante na argamassa.

4.1.2.2. Densidade de massa.

Apresenta-se na Tabela 4.3 os valores obtidos nos ensaios de densidade de massa para as argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa, mantendo-se constante o fator água/cimento em 1,85 e adotando o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 13276 (1995).

Tabela 4.3. Valores de densidade de massa para as argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa - fator a/c = 1,85.

Teor de sílica ativa (%)	Fator a/c	Densidade de massa (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	1,942	0,007	0,346
10	1,85	1,968	0,016	0,820
20	1,85	1,975	0,014	0,712

A análise estatística dos valores obtidos (Anexo A) mostra que a densidade de massa da argamassa de referência difere significativamente em relação àquela com 20 % de substituição de cimento por sílica ativa. Contudo, os valores de densidade de massa não diferem significativamente quando comparadas entre si as argamassas com 0 % e 10 % de substituição e àquelas com 10 % e 20 % de substituição, respectivamente.

Constata-se uma tendência de aumento da densidade de massa à medida que substitui-se maior quantidade de cimento por sílica ativa. Tal comportamento é coerente com o efeito de preenchimento dos interstícios da pasta da argamassa pelas partículas

microscópicas da sílica ativa, constatado em argamassas simples de cimento segundo MALHORTA et al. (1996).

4.1.2.3. Retenção de água.

Apresenta-se na Tabela 4.4 os valores obtidos nos ensaios de retenção de água de argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa, adotando o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 13276 (1995) e mantendo-se constante o fator água/cimento em 1,85.

Tabela 4.4. Valores de retenção de água de argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa - fator a/c = 1,85.

Teor de sílica ativa (%)	Fator a/c	Retenção de água (%)	Desvio padrão (%)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	88,63	0,44	0,50
10	1,85	90,40	1,01	1,11
20	1,85	93,26	0,20	0,21

Através da análise estatística dos dados (Anexo A) constata-se que há um aumento significativo da retenção de água de argamassas com substituição de cimento por sílica ativa. Este comportamento pode ser explicado considerando-se a elevada superfície específica dos grãos microscópicos de sílica ativa, os quais retêm quantidade maior de água que os grãos de cimentos utilizados em argamassas convencionais.

4.1.3. Resultados dos ensaios com as argamassas no estado endurecido.

4.1.3.1. Resistência à compressão.

Apresenta-se na Tabela 4.5 os valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão, aos 28 dias, de argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa, adotando o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 13276 (1995) e mantendo-se constante o fator água/cimento em 1,85.

Tabela 4.5. Valores de resistência à compressão para as argamassas com substituição de cimento Portland por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de sílica ativa (%)	Fator a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	6,58	0,25	3,75
10	1,85	7,11	0,16	2,23
20	1,85	7,90	0,23	2,90

Os resultados demonstram que há um aumento significativo de resistência à compressão de argamassas mistas à medida que aumenta-se o teor de substituição de cimento por sílica ativa.

Segundo autores como MALHORTA et al. (1996), o aumento da resistência à compressão é verificado em argamassas simples de cimento, sendo decorrente do efeito microfíler e a excelente atividade pozzolânica da adição mineral que resulta em uma zona de transição mais resistente na interface pasta-agregado.

A sílica ativa sob forma finamente dividida e em presença de água reage quimicamente com o hidróxido de cálcio resultante das reações de hidratação do cimento Portland, formando compostos que possuem propriedades cimentícias e apresentando, assim, excelente atividade pozolânica. O preenchimento dos interstícios da pasta de aglomerante caracteriza o efeito microfíler da sílica ativa.

A maior densificação da pasta de aglomerante, visualizada na análise microestrutural, seria a explicação para o aumento da resistência à compressão das argamassas mistas com substituição de parte do cimento por sílica ativa.

4.1.3.2. Resistência à tração.

Na Tabela 4.6 são apresentados os valores obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias, de argamassas com substituição de parte do cimento por sílica ativa, adotando o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 13276 (1995) e mantendo-se constante o fator água/cimento em 1,85.

Tabela 4.6. Valores de resistência à tração por compressão diametral para as argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de sílica ativa (%)	Fator a/c	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	0,88	0,09	10,28
10	1,85	1,04	0,10	9,71
20	1,85	1,23	0,18	14,46

Conforme demonstra a análise estatística dos dados (Anexo A), os valores de resistência à tração não diferem significativamente à medida que aumenta-se o teor de substituição de cimento por sílica ativa.

Contudo, verifica-se uma tendência de aumento da resistência à tração com a substituição de teores maiores de cimento por sílica ativa. Tal comportamento é coerente com a densificação da pasta de aglomerante constatada através da análise microestrutural com MEV, diminuindo, desta forma, a tendência de formação de microfissuras que levam à ruptura do material. Ganhos de resistência à tração em materiais frágeis como as argamassas podem ser muito úteis para aplicações em engenharia civil.

4.1.3.3. Módulo de deformação.

Nas Tabelas 4.7 e 4.8 são apresentados, respectivamente, os valores de módulo de deformação tangente e secante aos 28 dias, obtidos nos ensaios das argamassas com substituição de parte do cimento por sílica ativa. Adotou-se o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 13276 (1995) e manteve-se constante o fator água/cimento em 1,85. A figura 4.8 apresenta a curva tensão x deformação obtida para as argamassas com sílica ativa.

Tabela 4.7. Módulo de deformação tangente das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de sílica ativa (%)	Fator a/c	Módulo de deformação tangente (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	10181,57	699,67	6,87
10	1,85	11135,79	1330,06	11,94
20	1,85	12584,19	1113,19	8,85

Tabela 4.8. Módulo de deformação secante das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de sílica ativa (%)	Fator a/c	Módulo de deformação secante (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	3292,85	104,69	3,18
10	1,85	3682,60	468,05	12,71
20	1,85	4434,76	607,17	13,69

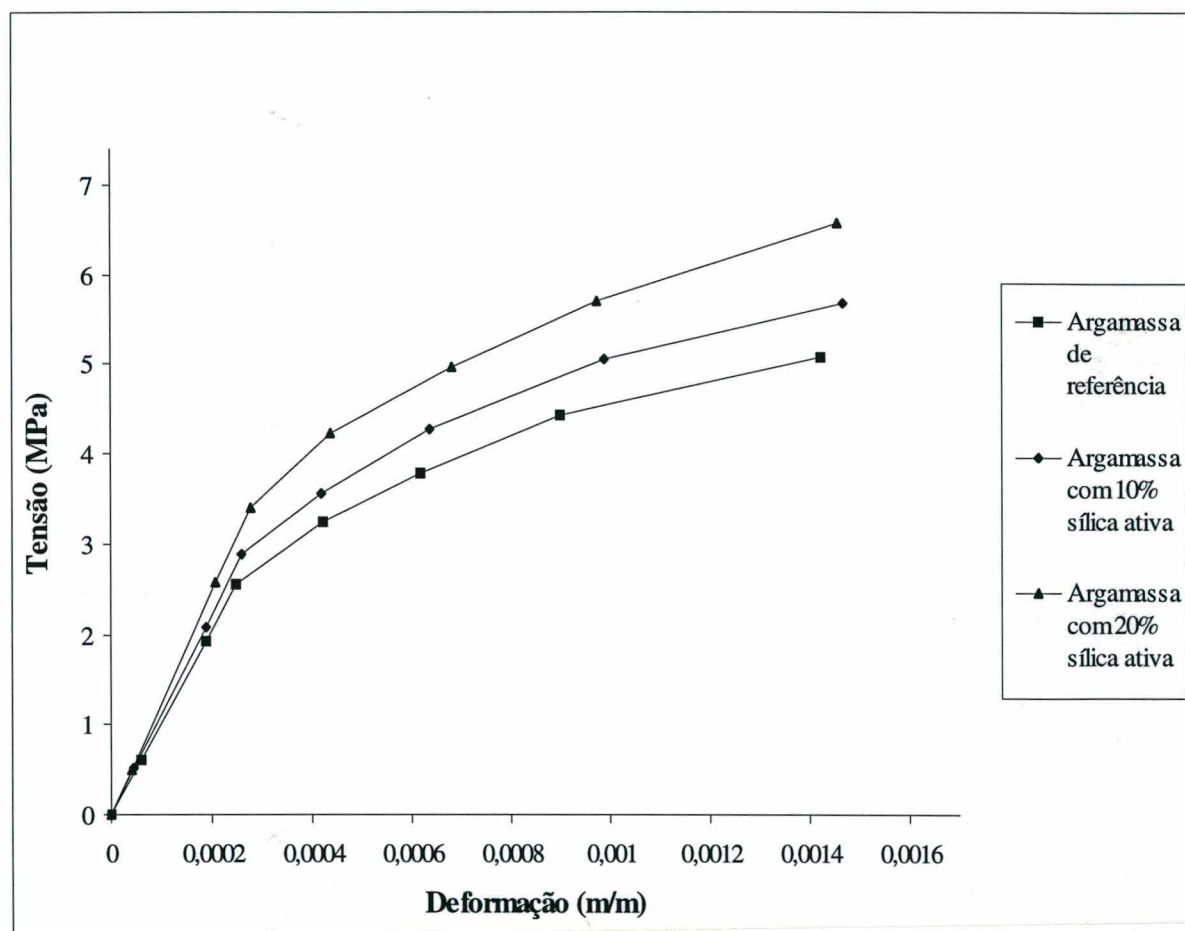


Figura 4.20. Curva tensão x deformação das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Os resultados da análise estatística (Anexo A) demonstram que tanto os valores de módulo de deformação tangente quanto o secante não diferem significativamente para teores distintos de substituição de cimento por sílica ativa.

Contudo, verifica-se uma tendência de aumento dos módulos de deformação tangente e secante das argamassas com sílica ativa, apesar de não ser significativa a um nível de confiança de 95 %. Portanto, constata-se uma tendência de aumento da rigidez das argamassas de assentamento com a utilização da sílica ativa, tornando-as menos deformáveis.

4.1.3.4. Coeficiente de Poisson.

São apresentados na Tabela 4.9 os valores de coeficiente de Poisson aos 28 dias, obtidos nos ensaios das argamassas com substituição de parte do cimento por sílica ativa. O procedimento de mistura adotado foi o da norma brasileira NBR 13276 (1995) e o fator água/cimento foi mantido constante em 1,85.

Tabela 4.9. Coeficiente de Poisson das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de sílica ativa (%)	Fator a/c	Coeficiente de Poisson	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
0	1,85	0,118	0,005	4,566
10	1,85	0,129	0,009	6,740
20	1,85	0,137	0,010	7,536

A análise estatística dos valores individuais, apresentada no Anexo A, mostra que os valores de coeficiente de Poisson das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa não diferem significativamente. O coeficiente de variação obtido foi elevado, considerando-se a ordem de grandeza dos valores. Isto prejudicou a confiabilidade dos

resultados. O ensaio de coeficiente de Poisson exige extrema precisão para a medição das deformações da ordem de 10^{-5} m.

4.1.3.5. Absorção por imersão.

Na Tabela 4.10 são apresentados os valores obtidos nos ensaios de absorção por imersão de argamassas com substituição de parte do cimento por sílica ativa, aos 28 dias, adotando-se o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 13276 (1995) e mantendo-se constante o fator água/cimento em 1,85.

Tabela 4.10. Absorção por imersão das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa, aos 28 dias - fator água/cimento = 1,85.

Teor de sílica ativa (%)	Fator a/c	Absorção por imersão (%)	Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (%)
0*	1,85	12,90	0,02	0,16
10	1,85	12,17	0,14	1,18
20	1,85	11,87	0,06	0,55

Os resultados demonstram que há uma diminuição significativa da absorção por imersão de argamassas mistas à medida que aumenta-se o teor de substituição de cimento por sílica ativa.

Autores como MALHORTA et al. (1996) constataram que a utilização de sílica ativa em argamassas simples de cimento reduz a absorção de água, melhorando portanto a estanqueidade. Segundo o autor, o aumento de estanqueidade ocorre devido ao efeito microfíler e a excelente atividade pozolânica da adição mineral, que reduzem a quantidade de vazios capilares da argamassa. Desta forma, os resultados obtidos para argamassas simples de cimento e argamassas mistas de cimento e cal mostram-se coerentes.

4.2. Argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC).

4.2.1. Resultados da análise microestrutural com microscópio eletrônico de varredura (MEV), aos 28 dias.

A análise microestrutural com microscópio eletrônico de varredura da argamassa de referência, sem adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias (fator água/cimento = 1,85 e procedimento de mistura conforme NBR 14082 (1998)) é apresentada nas figuras a seguir.

A figura 4.21 mostra uma visão geral da argamassa de referência, percebendo-se a pasta de aglomerante, os agregados e os poros.

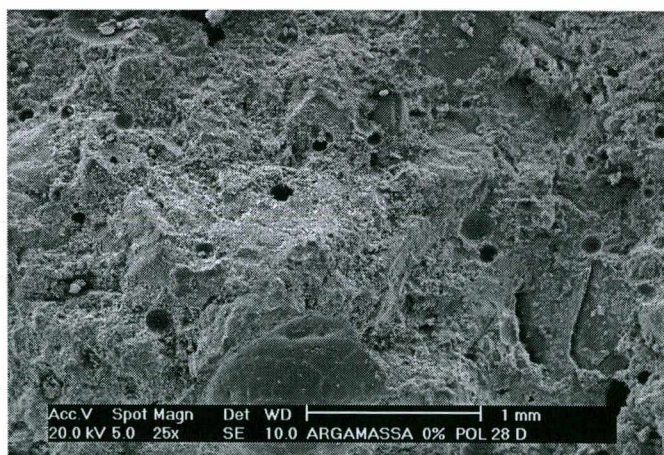


Figura 4.21 - Visão geral da argamassa de referência, aos 28 dias.

Na figura 4.22 constata-se três morfologias de C-S-H, a estrutura acicular-fibrosa do C-S-H tipo I, a estrutura em forma de colméia do C-S-H tipo II e a estrutura mais

densificada, praticamente esferas, do C-S-H tipo III, além de placas de Ca(OH)_2 . As análises EDAX do C-S-H tipo II (zona A da figura 4.22) e das placas de Ca(OH)_2 , (zona B da figura 4.22), são mostrados nas figuras 4.23 e 4.24, respectivamente. O C-S-H tipo II apresenta uma relação Ca/Si de aproximadamente 2,2.

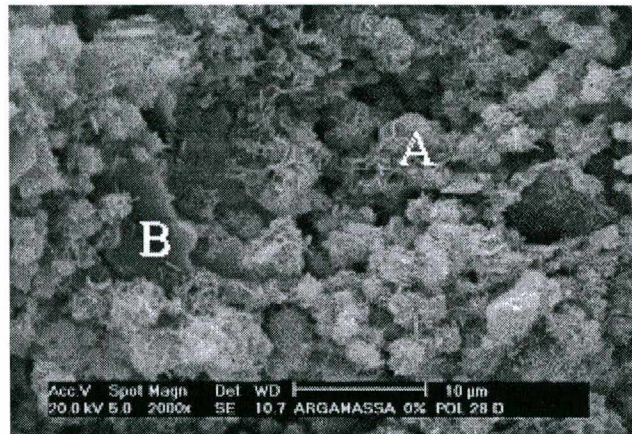


Figura 4.22. Pasta de aglomerante na argamassa de referência, aos 28 dias.

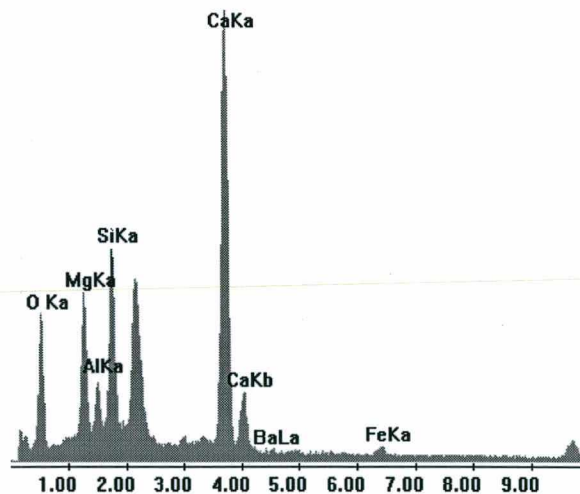


Figura 4.23. EDAX do C-S-H tipo II (zona A da figura 4.22) na pasta da argamassa de referência, aos 28 dias.

A figura 4.25 mostra a interface pasta de aglomerante-agregado da argamassa de referência. A análise EDAX da pasta de aglomerante junto à interface com o agregado é mostrada na figura 4.26, constatando-se uma relação $\text{Ca/Si} \cong 1,7$.

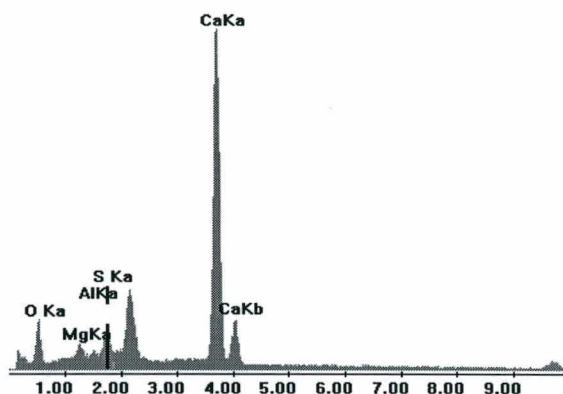


Figura 4.24. EDAX das placas de Ca(OH)_2 (zona B da figura 4.22) na pasta da argamassa de referência, aos 28 dias.

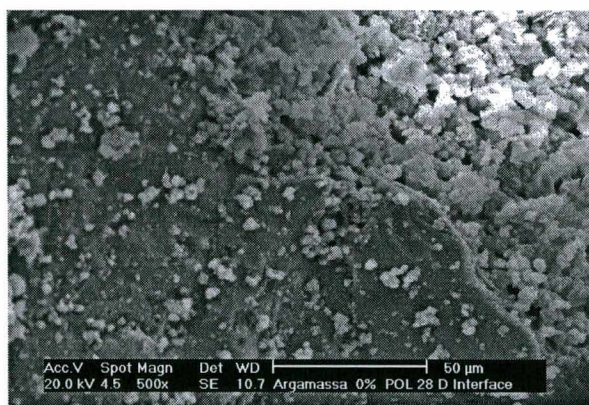


Figura 4.25. Interface pasta-agregado na argamassa de referência, aos 28 dias.

Na análise microestrutural com microscópio eletrônico de varredura da argamassa com adição de 2,5% de látex polímero EVLC, aos 28 dias (fator água/cimento = 1,85 e procedimento de mistura conforme NBR 14082 (1998)), obteve-se os resultados mostrados nas figuras a seguir.

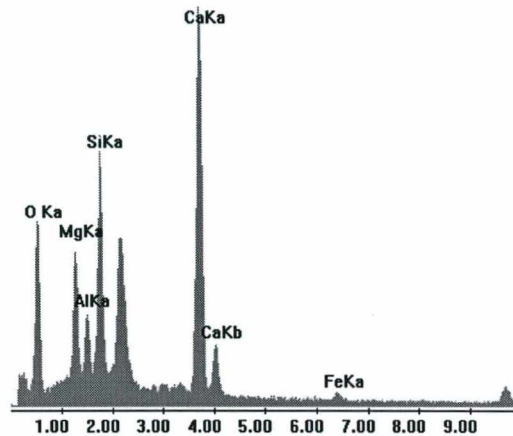


Figura 4.26.EDAX da pasta próxima à interface com o agregado na argamassa de referência, aos 28 dias.

A figura 4.27 mostra uma visão geral da argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero EVLC, percebendo-se as regiões correspondentes a pasta de aglomerante, os agregados e os poros. Percebe-se que os poros apresentam-se em maior quantidade e dimensões, possivelmente devido à incorporação de ar oriunda da adição do polímero.

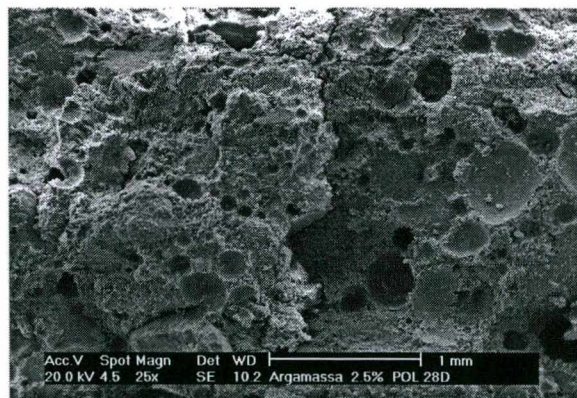


Figura 4.27. Visão geral da argamassa com adição de 2,5% de látex polímero, aos 28 dias.

A figura 4.28 mostra a pasta de aglomerante da argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero, percebendo-se novamente a existência da estrutura acicular-fibrosa do C-S-H tipo I, a estrutura em forma de colméia do C-S-H tipo II e a estrutura mais densificada do C-S-H tipo III, bem como de placas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. A microestrutura da pasta apresenta grãos menores do que nas argamassas sem EVLC. A análise EDAX da pasta de aglomerante é mostrada na figura 4.29 (zona A da figura 4.28). A relação Ca/Si do C-S-H da pasta não é alterada substancialmente com a adição de EVLC, ficando em torno de 2.

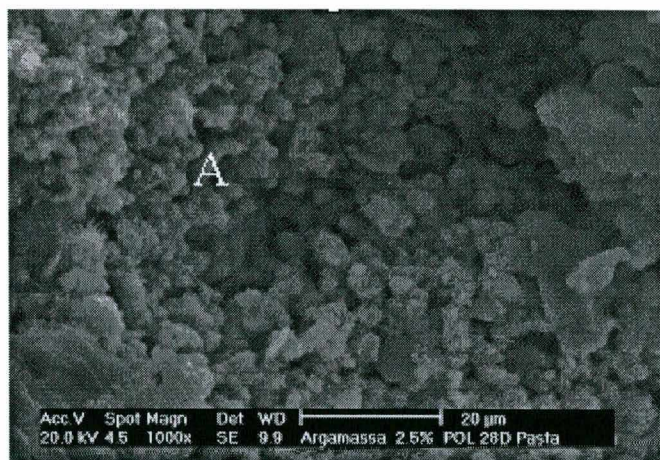


Figura 4.28. Pasta na argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero, aos 28 dias.

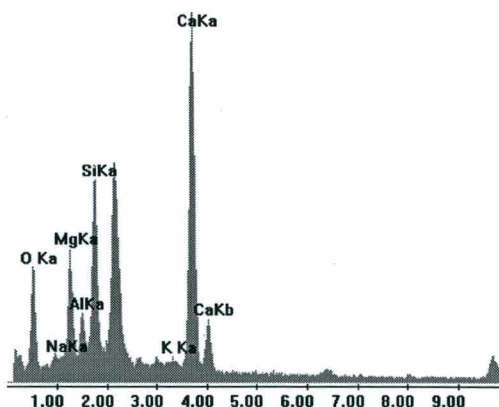


Figura 4.29. EDAX da pasta (zona A da figura 4.28) da argamassa com adição de 2,5% de látex polímero, aos 28 dias.

Na figura 4.30, mostra-se a microestrutura da interface pasta de aglomerante-agregado na argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero EVLC, aos 28 dias.



Foto 4.30. Interface pasta-agregado na argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero, aos 28 dias.

Na figura 4.31 mostra-se a análise EDAX da superfície de um poro da argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero EVLC, aos 28 dias. A parede dos poros apresenta uma composição relativamente parecida com a da pasta ($\text{Ca/Si} \cong 2$).

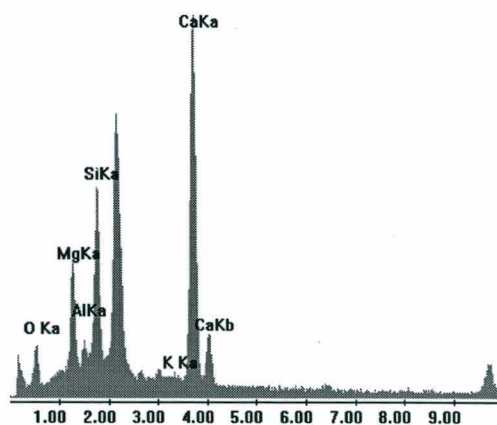


Figura 4.31. EDAX de um poro da argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero, aos 28 dias.

Os resultados da análise com o microscópio eletrônico de varredura da argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias, são mostrados nas figuras a seguir. Na produção das argamassas o fator água/cimento foi mantido constante em 1,85 e o procedimento de mistura adotado foi conforme recomendações da NBR 14082 (1998).

A figura 4.32 apresenta uma visão geral da argamassa com adição de 5 % de látex polímero. Percebe-se que a quantidade e as dimensões dos poros são ainda maiores que na argamassa com adição de 2,5 % de látex polímero.

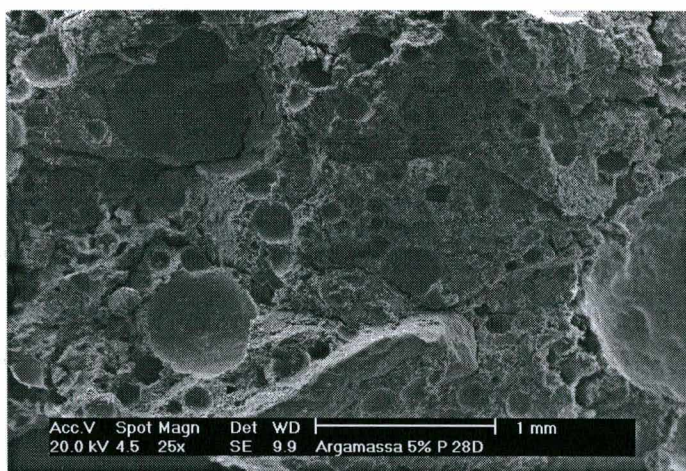


Figura 4.32. Visão geral da argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.

A figura 4.33 mostra que a pasta de aglomerante apresenta também a estrutura acicular-fibrosa do C-S-H tipo I e a estrutura em forma de colméia do C-S-H tipo II, mas as relações Ca/Si são de maneira geral menores do que aquelas observadas nas argamassas com 0 e 2,5% de EVLC. Na figura 4.34 apresenta-se a análise EDAX da pasta de aglomerante (Zona A da figura 4.33), verificando-se uma relação Ca/Si de aproximadamente 1,5.

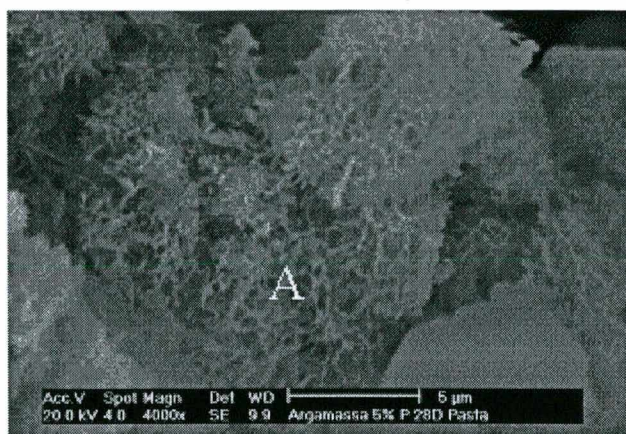


Figura 4.33. Pasta na argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.

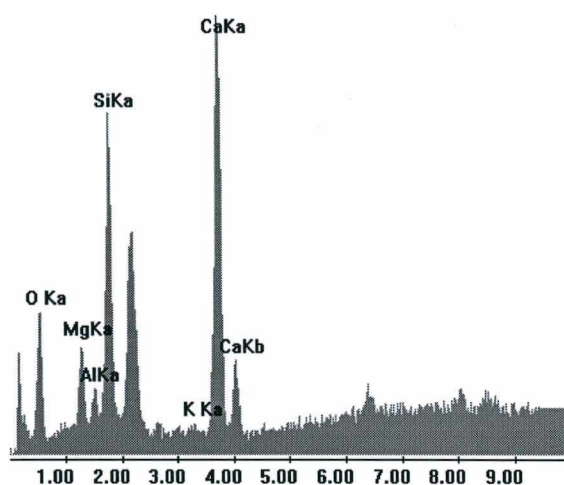


Figura 4.34. Análise EDAX da pasta (zona A da figura 4.33) na argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.

Na figura 4.35 aparece a interface pasta-agregado na argamassa com adição de 5 % de látex polímero. A aderência entre a pasta e o agregado parece menor, quando comparada com a argamassa de referência. A análise EDAX da interface pasta-agregado é mostrada na figura 4.36, com uma relação $\text{Ca/Si} \cong 1,33$.



Figura 4.35. Interface pasta-agregado na argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.

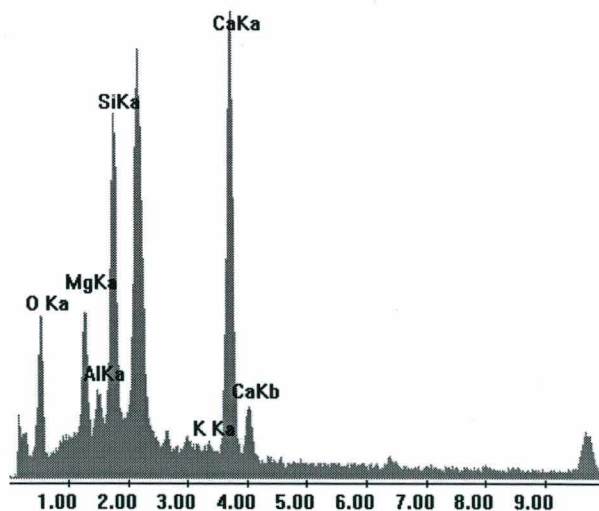


Figura 4.36. Análise EDAX da pasta próxima à interface com o agregado na argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.

A figura 4.37 apresenta a análise EDAX da pasta de C-S-H na superfície de um poro, contatando-se uma relação Ca/Si de aproximadamente 1,8.

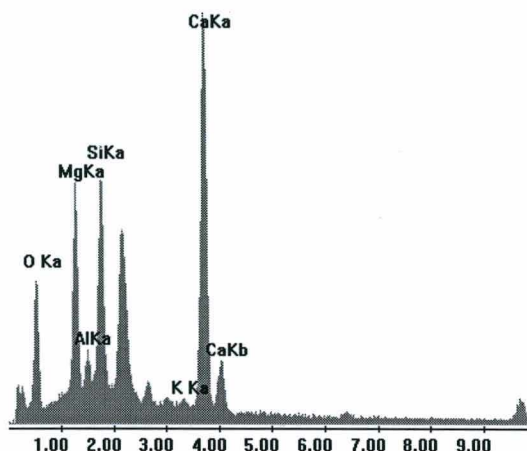


Figura 4.37. EDAX da pasta de C-S-H na superfície de um poro da argamassa com adição de 5 % de látex polímero, aos 28 dias.

Observou-se, em todas as argamassas com teores diferentes de adição de látex polímero EVLC, a presença de três morfologias de C-S-H, a estrutura acicular-fibrosa do C-S-H tipo I, a estrutura em forma de colméia do C-S-H tipo II e a estrutura mais densificada, quase esferas, do C-S-H tipo III. A análise microestrutural mostra também a presença de placas de Ca(OH)_2 , que devido a elevada porosidade da pasta tiveram espaço suficiente para desenvolver-se.

Apesar do número reduzido de amostras, constatou-se que a utilização de látex polímero EVLC não apresenta influência significativa sobre as relações Ca/Si e a composição do C-S-H da pasta de argamassas mistas de cimento e cal com adição de EVLC.

Visualizar-se o filme de polímero através de análise com microscópio eletrônico de varredura é difícil, uma vez que a fase de cimento hidratado e a fase de polímero, formada pela coalescência das partículas do material, se interpenetram. Estas duas fases ao interpenetrarem-se unem os agregados, formando uma matriz monolítica.

4.2.2. Resultados dos ensaios com as argamassas no estado fresco.

4.2.2.1. Trabalhabilidade - Índice de consistência.

Apresenta-se na Tabela 4.11 os valores obtidos nos ensaios de índice de consistência para as argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, mantendo-se constante o fator água/cimento em 1,85 e adotando o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 14082 (1998).

Tabela 4.11. Valores de índice de consistência para as argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno - fator a/c = 1,85.

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Índice de consistência (mm)	Desvio padrão (mm)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	279,19	1,99	0,71
2,5	1,85	281,31	1,54	0,55
5	1,85	283,18	1,90	0,67

A análise estatística dos dados (Anexo B) mostra que não há diferença significativa entre o índice de consistência das argamassas à medida que aumenta-se o teor de adição de látex polímero. Contudo, verifica-se uma tendência de aumento do índice de consistência e, consequentemente, da trabalhabilidade com a adição do polímero.

Em argamassas simples de cimento Portland, de acordo com CHANDRA et al. (1994), o aumento da consistência é decorrente do efeito lubrificante das partículas de polímero e de ar incorporado, bem como do efeito dispersante dos surfactantes do látex.

Desta forma, os resultados verificados em argamassas de cimento e cal com adição de látex polímero demonstram relativa concordância com o comportamento de argamassas onde o aglomerante é unicamente o cimento Portland.

Apresenta-se na Tabela 4.12 a quantidade de água necessária para obtenção do índice de consistência de 255 ± 10 mm (mantido constante) em argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, expressa através do fator água/cimento. Faz-se uma comparação com a argamassa de referência para a qual adotou-se o procedimento de mistura descrito na NBR 13276 (1995), designada S0, visto que este é o procedimento usualmente empregado para a produção das argamassas de assentamento.

Tabela 4.12. Comparação entre fatores água/cimento de argamassas com adição de látex polímero e argamassa de referência S0 - Índice de consistência = 255 ± 10 mm

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Índice de consistência (mm)	Desvio padrão (mm)	Coefficiente de variação (%)
0*	1,85	259,28	5,28	2,04
0**	1,79	260,84	2,73	1,05
2,5**	1,74	258,22	4,69	1,82
5**	1,68	263,47	13,20	5,01

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Os resultados obtidos demonstram que há uma redução da quantidade de água necessária para obtenção de um mesmo nível de trabalhabilidade (índice de consistência de 255 ± 10 mm) em argamassas com a adição de látex polímero EVLC. Comparando-se as argamassas de referência com procedimentos de mistura conforme a NBR 13276 (1995) e a NBR 14082 (1998), respectivamente, constata-se que a quantidade de água necessária para dada trabalhabilidade é influenciada pelo método de mistura.

4.2.2.2. Densidade de massa.

Na Tabela 4.13 apresenta-se os valores obtidos nos ensaios de densidade de massa de argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, mantendo-se constante o fator água/cimento em 1,85 e adotando o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 14082 (1998).

Tabela 4.13. Valores de densidade de massa para as argamassas com adição de látex polímero EVLC - fator a/c = 1,85.

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Densidade de massa (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)	Coeficiente de variação (%)
0	1,85	1,924	0,016	0,809
2,5	1,85	1,797	0,011	0,611
5	1,85	1,725	0,005	0,262

A análise estatística dos dados, apresentada no Anexo B, demonstra que há uma diminuição significativa da densidade de massa de argamassas com a adição do látex polímero cloro-laurato de vinila etileno.

Tal comportamento é coerente com a elevada incorporação de ar, decorrente segundo autores como CHANDRA et al. (1994) da ação dos agentes de superfície utilizados como emulsificantes e estabilizantes dos látex polímeros empregados em argamassas simples de cimento.

Apresenta-se na Tabela 4.14 os resultados obtidos nos ensaios de densidade de massa de argamassas com adição de látex polímero EVLC, mantendo-se o índice de consistência constante em 255 ± 10 mm e adotando-se o procedimento de mistura descrito na NBR 14082 (1998).

Compara-se os resultados com a argamassa de referência S0, para a qual adotou-se o procedimento de mistura descrito na NBR 13276 (1995). As argamassas produzidas com tal procedimento de mistura são usualmente empregadas para o assentamento de unidades de alvenaria.

Tabela 4.14. Densidade de massa de argamassas com adição de látex polímero e da argamassa de referência S0 - Índice de consistência = 255 ± 10 mm

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Densidade de massa (g/cm^3)	Desvio padrão (g/cm^3)	Coefficiente de variação (%)
0*	1,85	1,94	0,01	0,61
0**	1,79	1,93	0,01	0,26
2,5**	1,74	1,82	0,02	1,20
5**	1,68	1,73	0,02	1,09

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Analisando-se apenas as argamassas com adição de látex polímero, os resultados demonstram que há uma diminuição significativa da densidade de massa à medida que aumenta-se o teor de adição de látex polímero EVLC, a um nível de trabalhabilidade constante.

Comparando-se as argamassas de referência com procedimentos de mistura distintos, constata-se que os valores não diferem significativamente para um mesmo índice de consistência. Já os valores de densidade de massa das argamassas com 2,5 e 5% de adição de polímero diferem significativamente dos valores obtidos para a argamassa de referência S0.

4.2.2.3. Retenção de água.

Na Tabela 4.15 apresenta-se os valores obtidos nos ensaios de retenção de água de argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC), adotando-se o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 14082 (1998) e mantendo o fator água/cimento constante em 1,85.

Tabela 4.15. Valores de retenção de água para a argamassa com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC) - fator a/c = 1,85.

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Retenção de água (%)	Desvio padrão (%)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	87,13	0,96	1,10
2,5	1,85	86,56	0,72	0,83
5	1,85	85,25	0,20	0,24

Com relação aos valores obtidos, a análise estatística demonstra que a retenção de água das argamassas com 0 e 5 % de adição de látex polímero diferem significativamente, a um nível de confiança de 95%. Comparando-se entre si as argamassas com 0 e 2,5 % de adição de polímero e as argamassas com 2,5 e 5 % de EVLC verifica-se que os valores obtidos não diferem significativamente.

Portanto, analisando-se os valores extremos (0 e 5 % de adição de EVLC) constata-se que há uma tendência de diminuição da retenção de água das argamassas com adição de látex polímero EVLC. Segundo CHANDRA et al. (1994), a retenção de água de argamassas simples de cimento modificadas com polímero geralmente melhora, quando comparadas com argamassas comuns.

As causas de tal comportamento seriam as propriedades coloidais hidrofílicas dos látex polímeros e a inibição da evaporação de água devido ao efeito de preenchimento e enclausuramento oriundo da formação do filme de polímero impermeável.

Contudo, para as argamassas mistas com adição de látex polímero EVLC verificou-se uma formação excessiva de vazios de ar, constatada pela diminuição significativa da densidade de massa. Estes vazios de ar originaram uma massa menos densa que retém de modo menos eficiente a água de amassamento.

Apresenta-se na Tabela 4.16 os resultados obtidos nos ensaios de retenção de água de argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, adotando-se o

procedimento de mistura descrito na NBR 14082 (1998) e mantendo-se o índice de consistência constante em 255 ± 10 mm.

Compara-se, ainda, com os resultados obtidos para a argamassa de referência produzida adotando o procedimento de mistura da NBR 13276 (1995), para a qual o índice de consistência foi igualmente de 255 ± 10 mm.

Tabela 4.16. Retenção de água de argamassas com adição de látex polímero EVLC e da argamassa de referência S0 - Índice de consistência = 255 ± 10 mm

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Retenção de água (%)	Desvio padrão (%)	Coefficiente de variação (%)
0*	1,85	88,63	0,44	0,50
0**	1,79	87,36	0,57	0,65
2,5**	1,74	86,34	2,21	2,56
5**	1,68	86,02	1,73	2,01

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Os resultados da análise estatística apresentada no Anexo B demonstram que a retenção de água dos quatro tipos de argamassas (argamassas de referência S0 e P3 e argamassas com 2,5 e 5 % de adição de látex polímero) não difere significativamente para todas as comparações feitas, a um mesmo nível de trabalhabilidade,.

Assim, argamassas com adição de látex polímero EVLC apresentam retenção de água da mesma ordem de grandeza que argamassas de assentamento convencionais (argamassa de referência S0), para um mesmo índice de consistência.

4.2.3. Resultados dos ensaios com as argamassas no estado endurecido.

4.2.3.1. Resistência à compressão.

Na Tabela 4.17 apresenta-se os valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão de argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias, mantendo-se constante o fator água/cimento em 1,85 e adotando o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 14082 (1998).

Tabela 4.17. Valores de resistência à compressão das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	5,58	0,50	8,97
2,5	1,85	3,99	0,23	5,74
5	1,85	3,10	0,29	9,19

No caso das argamassas com adição de látex polímero, observa-se uma diminuição significativa da resistência à compressão com o aumento do teor de EVLC. Segundo OHAMA (1987), argamassas simples de cimento Portland modificadas com látex geralmente não apresentam ganhos de resistência à compressão, contudo isto depende de fatores tais como os tipos de materiais usados (látex, cimento e agregados), os traços (fator água/cimento, relação polímero/cimento, etc.), as condições de cura e os métodos de ensaio.

A principal justificativa para esta redução da resistência à compressão seria a incorporação excessiva de ar, que prejudicou a compacidade ao originar vazios no material.

Apresenta-se na Tabela 4.18 os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão de argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC) aos 28 dias, mantendo-se o índice de consistência constante em 255 ± 10 mm e adotando-se o procedimento de mistura descrito na NBR 14082 (1998).

Compara-se ainda os resultados com a argamassa de referência produzida utilizando o procedimento de mistura descrito na NBR 13276 (1995), para a qual adotou-se um índice de consistência de 255 ± 10 mm.

Tabela 4.18. Resistência à compressão de argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0*	1,85	6,58	0,25	3,75
0**	1,79	6,15	0,26	4,31
2,5**	1,74	5,47	0,47	8,57
5**	1,68	5,01	0,09	1,78

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

A análise estatística dos resultados (Anexo B) mostra que as únicas comparações que resultam em valores que não diferem significativamente são entre as argamassas de referência com procedimentos de mistura diferentes e as argamassas com 2,5 e 5 % de adição de látex polímero EVLC.

Desta forma, a argamassa de referência com procedimento de mistura conforme a NBR 14082 (1998) alcança níveis de resistência equiparados ao da argamassa com procedimento de mistura usual, conforme a NBR 13276 (1995). Quando analisadas apenas as argamassas com procedimento de mistura conforme a NBR 14082 (1998) verifica-se que há uma tendência de redução da resistência à compressão à medida que aumenta-se o teor de adição de EVLC, para um índice de consistência constante.

4.2.3.2. Resistência à tração.

Os valores obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral de argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias, são apresentados na Tabela 4.19. Na produção destas argamassas manteve-se constante o fator água/cimento em 1,85 e adotou-se o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 14082 (1998).

Tabela 4.19. Valores de resistência à tração das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Resistência à tração (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	0,70	0,05	6,99
2,5	1,85	0,56	0,04	7,06
5	1,85	0,45	0,07	14,62

Através da análise estatística dos valores individuais apresentada no Anexo B constata-se que os valores de resistência à tração das argamassas com teores distintos de adição de EVLC diferem significativamente. Assim, há uma diminuição substancial da resistência à tração com o aumento do teor de adição de látex polímero EVLC.

Autores como CHANDRA et al. (1994) constataram que argamassas simples de cimento modificadas com polímero apresentam um aumento considerável na resistência à tração, quando comparadas com argamassas comuns. Tal comportamento é decorrente da contribuição oferecida pela elevada resistência à tração dos polímeros e uma melhoria global na ligação cimento-agregado.

Possivelmente a incorporação excessiva de ar reduziu a resistência à tração das argamassas com látex polímero EVLC, da mesma forma que ocorreu com a resistência à compressão.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias, de argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC) são apresentados na Tabela 4.20. Na produção das argamassas manteve-se o índice de consistência constante em 255 ± 10 mm e adotou-se o procedimento de mistura descrito na NBR 14082 (1998). Compara-se os resultados com a argamassa de referência produzida utilizando o procedimento de mistura descrito na NBR 13276 (1995).

Tabela 4.20. Resistência à tração de argamassas com adição de látex polímero e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Resistência à tração (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0*	1,85	0,88	0,09	10,28
0**	1,79	0,83	0,07	8,59
2,5**	1,74	0,78	0,04	4,52
5**	1,68	0,71	0,05	6,77

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

De acordo com a análise estatística dos dados (Anexo B), os valores de resistência à tração das argamassas com adição de teores distintos de látex polímero EVLC e da argamassa de referência S0 não diferem significativamente quando comparados entre si.

Portanto, a um nível de trabalhabilidade constante, obtém-se argamassas com adição de EVLC que apresentam resistências à tração equiparadas às da argamassa de referência S0, a qual é a argamassa usualmente empregada.

4.2.3.3. Módulo de deformação.

Os valores de módulo de deformação tangente e secante, aos 28 dias, obtidos para as argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno são apresentados nas Tabela 4.21 e 4.22, respectivamente. Na produção destas argamassas manteve-se constante o fator água/cimento em 1,85 e adotou-se o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 14082 (1998).A figura 4.38 apresenta a curva tensão x deformação obtida para as argamassas modificadas com EVLC.

Tabela 4.21. Módulo de deformação tangente das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Módulo de deformação tangente (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	9173,29	442,93	4,83
2,5	1,85	7479,96	284,51	3,80
5	1,85	6007,23	875,12	14,57

A análise estatística dos resultados (Anexo B) mostra que há uma diminuição significativa do módulo de deformação tangente das argamassas à medida que se aumenta o teor de adição de látex polímero. Portanto, há uma redução significativa da rigidez das argamassas, tornando-as mais deformáveis.

Tabela 4.22. Módulo de deformação secante das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Módulo de deformação secante (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	2929,56	265,87	9,08
2,5	1,85	2537,07	118,68	4,68
5	1,85	2263,76	262,31	11,59

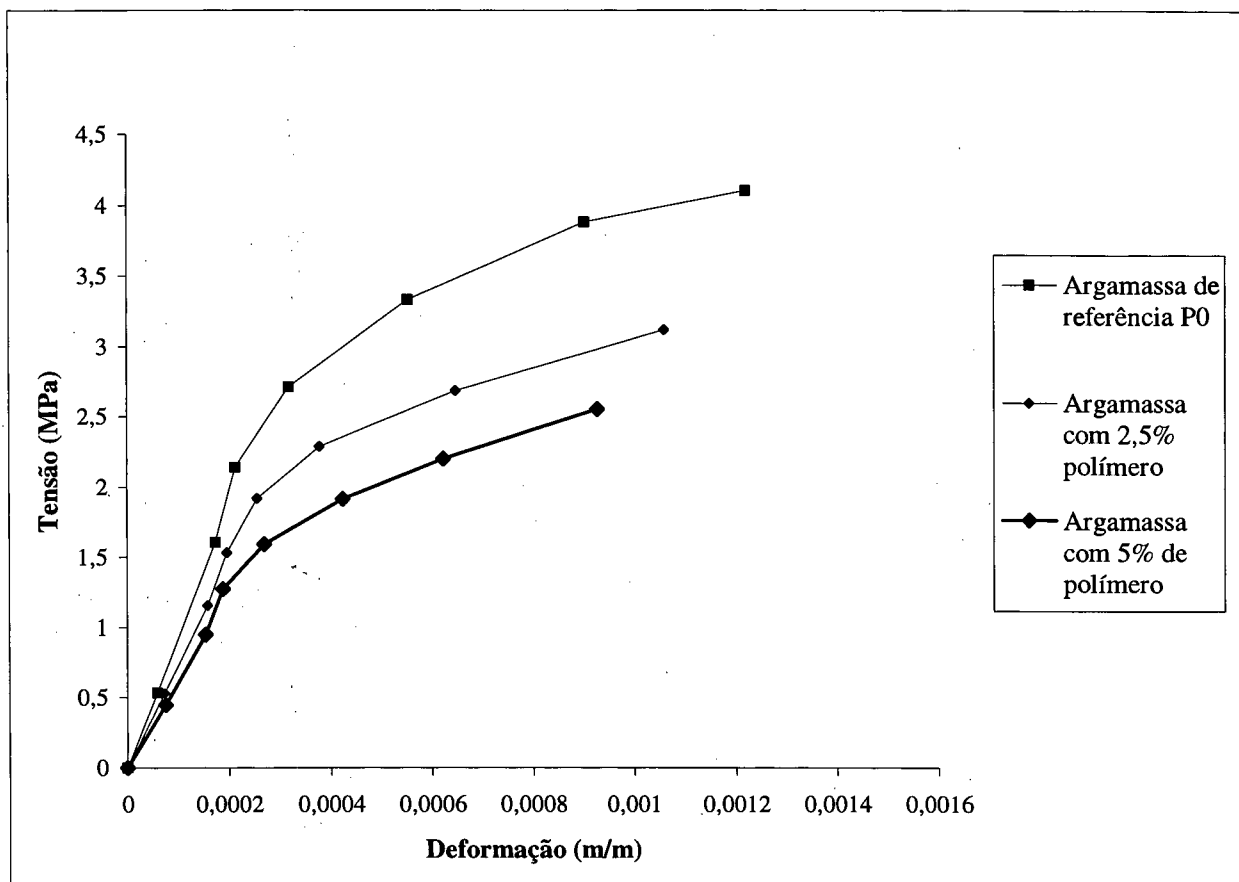


Figura 4.38. Curva tensão x deformação das argamassas com adição de látex polímero EVLC, aos 28 dias - fator $a/c = 1,85$.

Os resultados de módulo de deformação secante mostraram-se significativamente diferentes apenas quando comparadas as argamassas com 0 e 5 % de adição de látex polímero EVLC. Constatase, assim, uma tendência de redução do módulo de deformação secante, sendo coerente com a diminuição do módulo de deformação tangente.

Os resultados obtidos nos ensaios de módulo de deformação tangente e secante, aos 28 dias, de argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC) são apresentados nas Tabelas 4.23 e 4.24, respectivamente. Na produção das argamassas

manteve-se o índice de consistência constante em 255 ± 10 mm e adotou-se o procedimento de mistura descrito na NBR 14082 (1998).

Compara-se os resultados com a argamassa de referência produzida usando o procedimento de mistura descrito na NBR 13276 (1995), a qual é a argamassa de assentamento usualmente empregada. A figura 4.39 apresenta as curvas tensão x deformação das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias, para um índice de consistência constante de 255 ± 10 mm.

Tabela 4.23. Módulo de deformação tangente das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Módulo de deformação tangente (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0*	1,85	10181,57	699,67	6,87
0**	1,79	9396,29	246,75	2,63
2,5**	1,74	7760,63	1064,91	13,72
5**	1,68	6359,78	1024,02	16,10

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Tabela 4.24. Módulo de deformação secante das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Módulo de deformação secante (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0*	1,85	3292,85	104,69	3,18
0**	1,79	3029,21	146,52	4,84
2,5**	1,74	2677,97	347,43	12,97
5**	1,68	2392,66	213,21	8,91

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

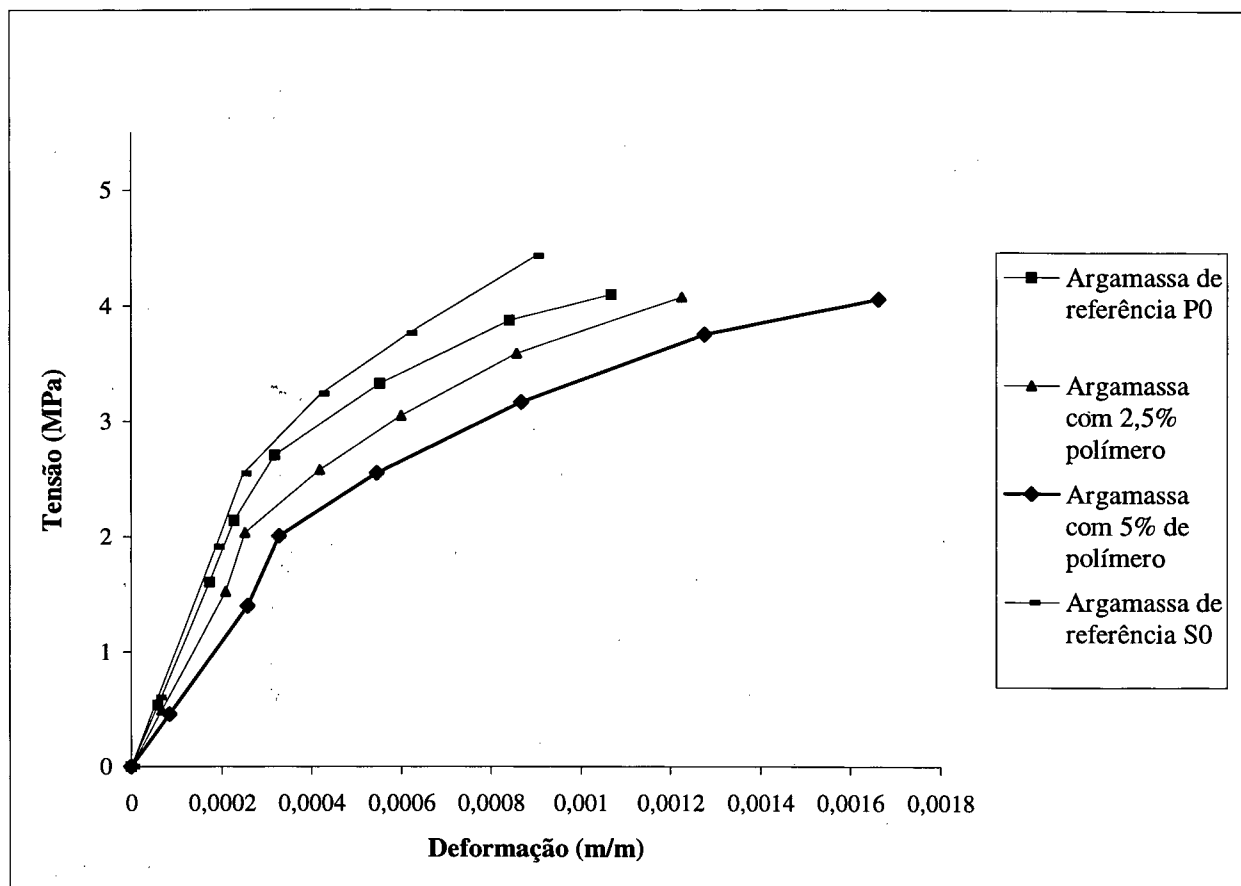


Figura 4.39. Curva tensão x deformação das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm

A análise estatística dos resultados (Anexo B) tanto do módulo de deformação tangente quanto secante demonstra que os valores são significativamente diferentes quando comparadas as argamassas S0 com P4, S0 com P5, e P3 com P5.

Constata-se assim que, a um mesmo nível de trabalhabilidade, as argamassas com adição de 2,5 e 5 % de EVLC apresentam módulos de deformação tangente e secante significativamente diferentes da argamassa de referência S0, a qual é usualmente empregada. Já as argamassas de referência com procedimentos de mistura diferentes apresentam módulos de deformação tangente e secante com a mesma ordem de grandeza.

A argamassa de referência com procedimento de mistura conforme a NBR 14082 e a argamassa com 5 % de EVLC apresentam módulos de deformação tangente e secante significativamente distintos, a um nível de trabalhabilidade constante. Assim, analisando-se apenas as argamassas com procedimento de mistura conforme a NBR 14082 (1998), constata-se uma tendência de redução dos módulos de deformação tangente e secante com o aumento do teor de adição de EVLC, para um índice de consistência constante.

4.2.3.4.Coefficiente de Poisson.

Os valores de coeficiente de Poisson, aos 28 dias, obtidos para as argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno são apresentados na Tabela 4.25. Na produção destas argamassas manteve-se constante o fator água/cimento em 1,85 e adotou-se o procedimento de mistura da norma NBR 14082 (1998).

Tabela 4.25. Coeficiente de Poisson das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Coeficiente de Poisson	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
0	1,85	0,124	0,015	12,151
2,5	1,85	0,121	0,008	6,894
5	1,85	0,111	0,011	10,279

De acordo com a análise estatística dos valores obtidos, apresentada no Anexo B, o coeficiente de Poisson das argamassas não difere significativamente à medida que aumenta-se o teor de adição do látex polímero EVLC. A medição do coeficiente de Poisson exige muita precisão, uma vez que os valores obtidos são da ordem de 10^{-5} m. O coeficiente de variação elevado, decorrente das exigências de precisão do ensaio, prejudicou a representatividade das medições.

Os resultados obtidos nos ensaios de coeficiente de Poisson, aos 28 dias, de argamassas com adição de látex polímero EVLC e índice de consistência 255 ± 10 mm, são apresentados na Tabela 4.26. Na produção destas argamassas adotou-se o procedimento de mistura descrito na NBR 14082 (1998). Compara-se os resultados com a argamassa de referência S0, produzida com o procedimento de mistura descrito na NBR 13276 (1995).

Tabela 4.26. Coeficiente de Poisson das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Coeficiente de Poisson	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
0*	1,85	0,118	0,005	4,566
0**	1,79	0,109	0,016	15,081
2,5**	1,74	0,112	0,017	15,622
5**	1,68	0,102	0,014	13,778

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

A análise estatística dos resultados, apresentada no Anexo B, demonstra que nenhum dos valores de coeficiente de Poisson difere significativamente quando comparadas entre si as argamassas de referência S0 e as argamassas com 0; 2,5 e 5 % de adição de látex polímero EVLC. Uma vez que os valores medidos são da ordem do μ m, torna-se difícil obter o nível de precisão necessário para que tenha-se uma confiabilidade adequada dos resultados.

4.2.3.5. Absorção por imersão.

Os valores de absorção por imersão obtidos para as argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno são apresentados na Tabela 4.27. Na produção

destas argamassas manteve-se constante o fator água/cimento em 1,85 e adotou-se o procedimento de mistura da norma brasileira NBR 14082 (1998).

Tabela 4.27. Absorção por imersão das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, aos 28 dias - fator a/c = 1,85.

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Absorção por imersão - 72 h (%)	Desvio Padrão (%)	Coefficiente de variação (%)
0	1,85	12,99	0,03	0,27
2,5	1,85	13,20	0,07	0,52
5	1,85	13,55	0,13	0,99

De acordo com a análise estatística dos valores obtidos, apresentada no Anexo B, há um aumento significativo da absorção por imersão com o aumento do teor de adição de EVLC.

Segundo TYLER et al. (1961) in CHANDRA et al. (1994), argamassas simples de cimento modificadas com polímero apresentam uma estrutura em que os vazios existentes podem ser preenchidos pelo látex polímero ou selados por um filme contínuo, reduzindo desta forma a absorção de água.

A explicação para o aumento significativo da absorção de água de argamassas mistas com adição de látex polímero EVLC seria a incorporação excessiva de ar, que originou uma microestrutura com elevada porosidade.

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção por imersão, aos 28 dias, de argamassas com adição de látex polímero EVLC, aos 28 dias, são apresentados na Tabela 4.28. Na produção das argamassas manteve-se o índice de consistência constante em 255 ± 10 mm e adotou-se o procedimento de mistura descrito na NBR 14082 (1998). Os resultados são comparados com a argamassa de referência produzida utilizando o procedimento de mistura descrito na NBR 13276 (1995).

Tabela 4.28. Absorção por imersão das argamassas com adição de EVLC e da argamassa de referência S0, aos 28 dias - Índice de consistência = 255 ± 10 mm

Teor de polímero EVLC (%)	Fator a/c	Absorção por imersão - 72 h (%)	Desvio padrão (%)	Coefficiente de variação (%)
0*	1,85	12,90	0,02	0,16
0**	1,79	13,12	0,07	0,50
2,5**	1,74	13,33	0,13	0,97
5**	1,68	13,64	0,16	1,18

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Os resultados mostram que apenas as comparações entre as argamassas de referência com procedimentos de mistura distintos e as argamassas P3 com P4 apresentaram valores que não diferiram significativamente, enquanto as demais comparações resultaram em valores substancialmente diferentes, para um índice de consistência constante.

Portanto, a um nível de trabalhabilidade constante, as argamassas de referência com procedimentos de mistura distintos apresentaram valores equiparáveis. Já para as argamassas com adição de 2,5 e 5 % de EVLC, constata-se que a absorção de água é significativamente maior que os valores obtidos para a argamassa de referência S0.

Analisando-se os resultados obtidos para as argamassas P3, P4 e P5, verifica-se uma tendência de aumento da absorção de água com o aumento do teor de adição de EVLC.

4.3. Resultados dos ensaios com prismas.

4.3.1. Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas.

São apresentados na Tabela 4.29, os valores médios obtidos nos ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos prismas de alvenaria de blocos de concreto, moldados utilizando-se quatro tipos de argamassas de assentamento.

Os valores individuais são apresentados no Anexo C. As argamassas designadas por S0, S2 e P2 foram produzidas mantendo-se constante o fator água/cimento em 1,85, enquanto que a argamassa P5 foi produzida com um índice de consistência de 255 ± 10 mm, igual ao da argamassa S0.

Tabela 4.29. Resistência à compressão na área bruta e módulo de elasticidade secante dos prismas de alvenaria, aos 28 dias.

Designação da argamassa	Fator a/c	Resistência à compressão na área bruta (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Módulo de elasticidade (MPa)
S0 (referência)	1,85	9,94	1,25	12,58	6133,00
S2 (20% s.a.)	1,85	10,15	1,19	11,73	7446,37
P2 (5% EVLC)	1,85	8,86	0,22	2,48	6064,47
P5 (5% EVLC)	1,68	9,23	0,43	4,64	6369,14

A análise estatística dos resultados (Anexo C) demonstra que a resistência à compressão dos prismas moldados utilizando as argamassas modificadas com sílica ativa e látex polímero EVLC não difere significativamente.

A resistência à compressão dos prismas moldados com as argamassas S0, S2 e P2, que apresentavam um fator água/cimento de 1,85, mostrou não diferir de modo significativo. Da mesma forma, comparando-se a resistência à compressão dos prismas moldados com as argamassas S0 e P5, que apresentavam um nível de trabalhabilidade igual, constatou-se não haver diferença significativa entre os valores. Para nenhuma das comparações entre a resistência dos prismas constatou-se haver diferenças significativas.

Nas figuras 4.40 à 4.43 são apresentadas as curvas tensão x deformação axial dos prismas moldados com os quatro tipos diferentes de argamassas. As deformações axiais são as médias dos valores obtidos nas diferentes bases de medida nos prismas de alvenaria.

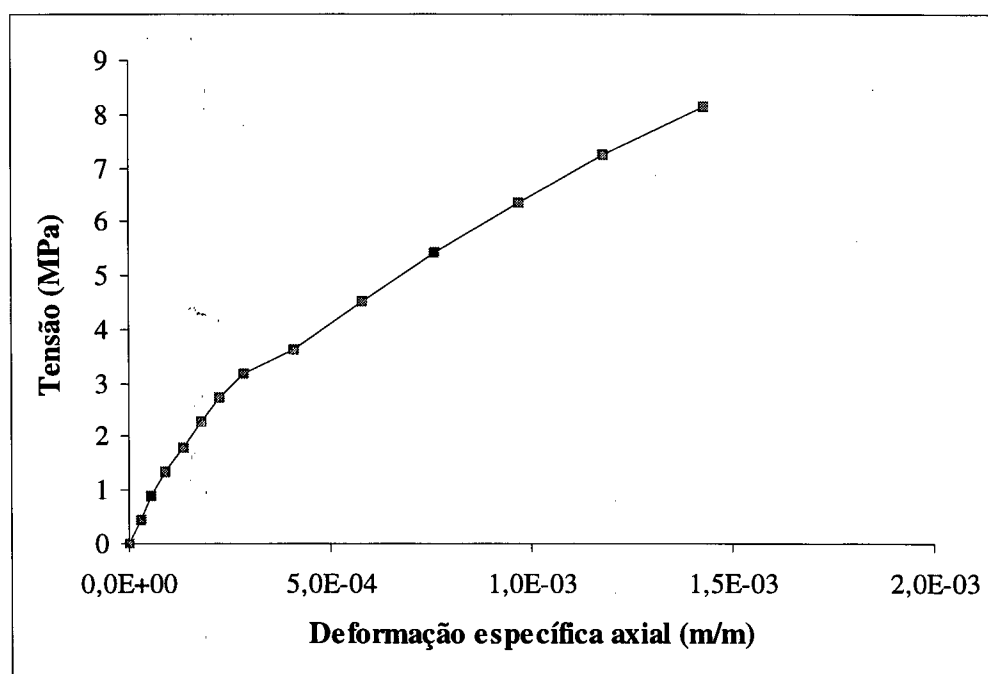


Figura 4.40. Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de concreto moldados com a argamassa de referência S0.

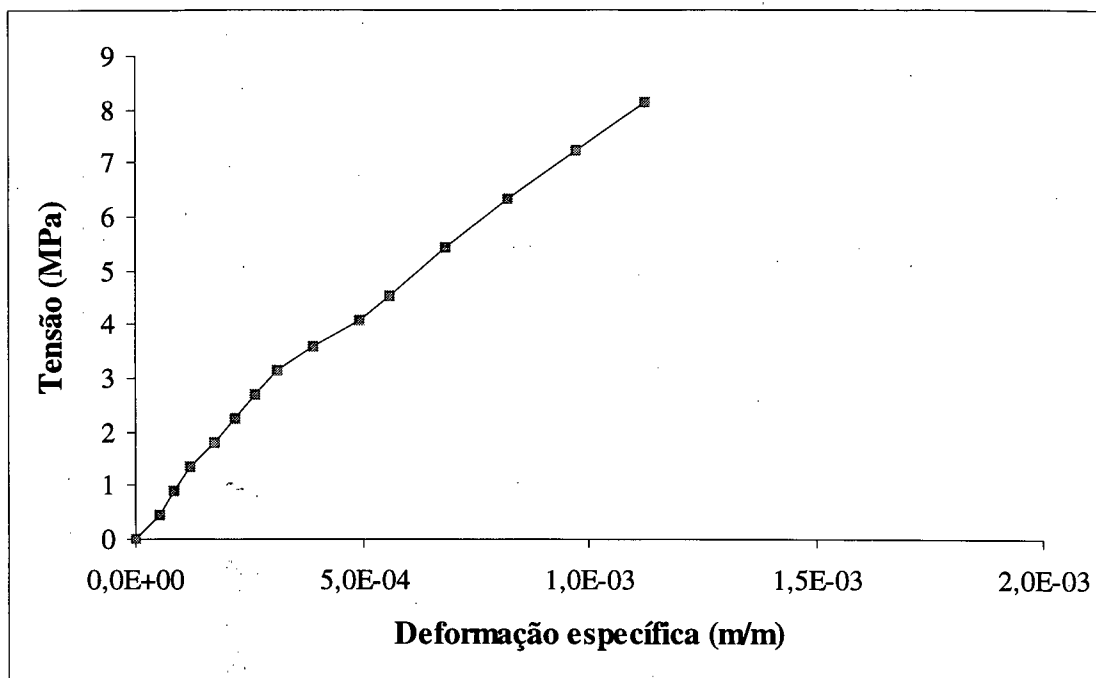


Figura 4.41. Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de concreto moldados utilizando a argamassa com 20% de sílica ativa (S2).

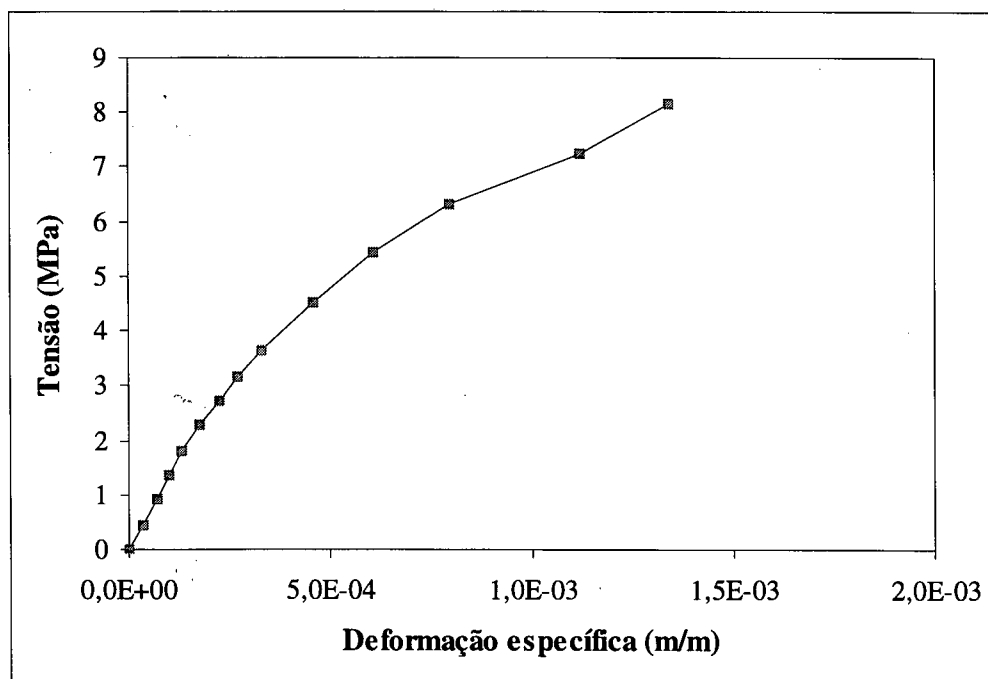


Figura 4.42. Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de concreto moldados utilizando a argamassa com adição de 5 % de EVLC (P2).

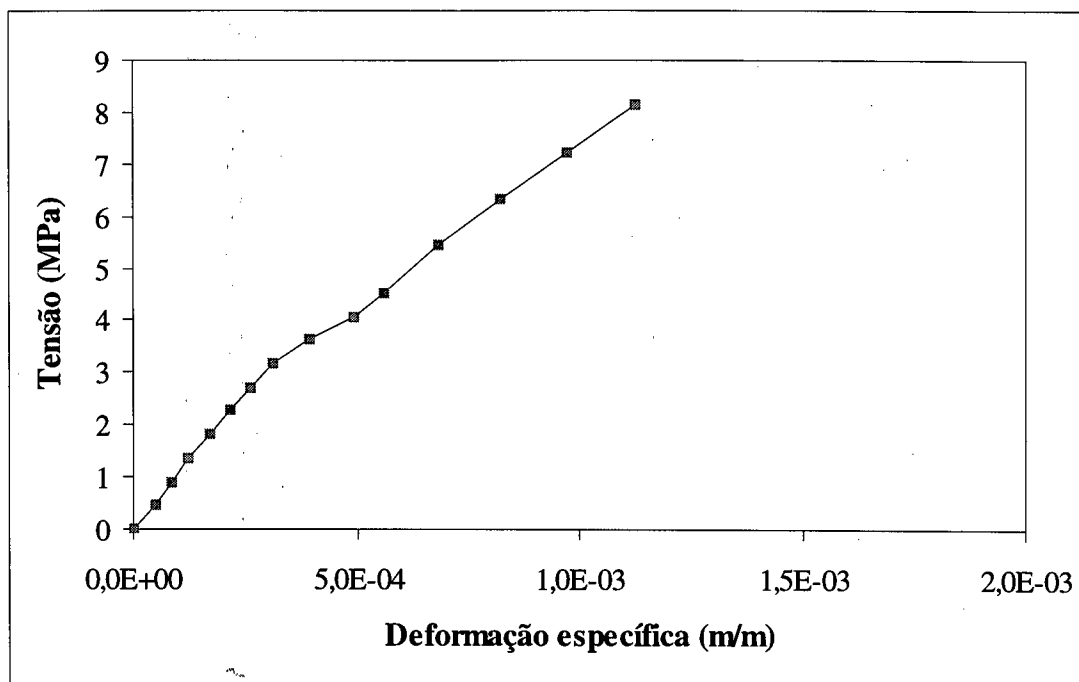


Figura 4.43. Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de concreto moldados utilizando a argamassa com adição de 5 % de EVLC (P5).

Analisando-se os gráficos das figuras 4.40 à 4.43, percebe-se que não há diferença substancial entre as curvas tensão x deformação dos prismas moldados com tipos diferentes de argamassas. Os resultados de módulo de elasticidade secante da tabela 4.29 demonstram, da mesma forma, que não constata-se diferenças representativas entre os diferentes tipos de prismas.

4.3.2. Fator de Eficiência da alvenaria ($f_{\text{prisma}}/f_{\text{bloco}}$).

Apresenta-se na Tabela 4.30, os fatores de eficiência obtidos para os prismas moldados com os diferentes tipos de argamassa.

Tabela 4.30. Fator de eficiência dos prismas moldados com diferentes tipos de argamassa.

Designação da argamassa	Resistência do bloco na área bruta(MPa)	Resistência da argamassa (MPa)	Relação E_a/E_b	Resistência do prisma na área bruta (MPa)	Fator de eficiência
S0 (referência)	16,38	6,58	0,15	9,94	0,61
S2 (20% s.a.)	16,38	7,90	0,20	10,15	0,62
P2 (5% EVLC)	16,38	3,10	0,10	8,86	0,54
P5 (5% EVLC)	16,38	5,02	0,11	9,23	0,56

Os resultados demonstram que não há alterações substanciais no fator de eficiência dos prismas de alvenaria de blocos de concreto moldados com as argamassas de tipos diferentes.

Constata-se uma tendência de redução do fator de eficiência ao utilizar-se argamassas com adição de látex polímero EVLC, as quais apresentam resistência à compressão e módulo de elasticidade menores do que a argamassa de referência S0.

Observa-se que as relações entre os módulos de elasticidade das argamassas modificadas com sílica ativa e látex polímero EVLC e o módulo de elasticidade do bloco (E_a/E_b) não são substancialmente diferentes.

Desta forma, os módulos de deformação modificados das argamassas com sílica ativa e das argamassas com látex polímero EVLC não apresentaram influência significativa sobre os valores de resistência à compressão e de fator de eficiência de prismas de alvenaria de blocos de concreto.

4.3.3. Tipos de ruptura.

O tipo de ruptura dos prismas moldados com os quatro tipos de argamassas foi analisado durante a execução dos ensaios.

Constatou-se, para todos os prismas que a ruptura ocorria com fissuração vertical ao longo da secção transversal, acompanhada por esfacelamento da superfície dos blocos. Verificou-se que a junta de argamassa perdia a capacidade de suporte próximo à ruptura. Assim, a forma de ruptura foi a mesma para todos os prismas ensaiados. As figuras 4.44 a 4.47 mostram as fissuras verticais e o esfacelamento da superfície dos blocos nos prismas.

A justificativa para o tipo de ruptura verificado seria que como as argamassas utilizadas apresentam módulos de deformação baixos e, conseqüentemente, elevada deformabilidade, originaram-se tensões de tração laterais significativas no bloco que causavam o esfacelamento da superfície deste.

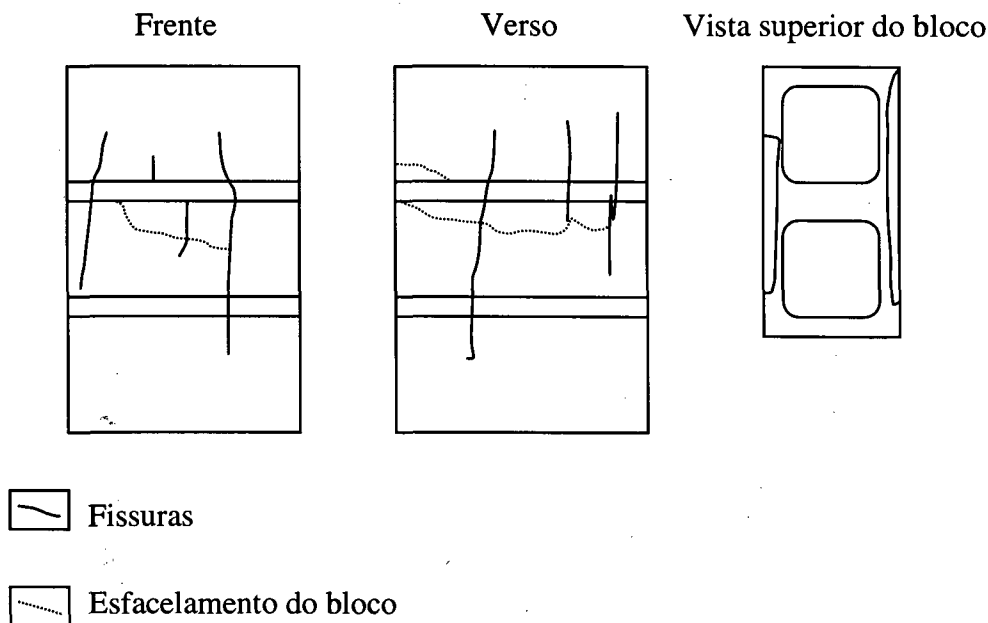


Figura 4.44. Tipo de ruptura de prismas moldados com a argamassa de referência S0.

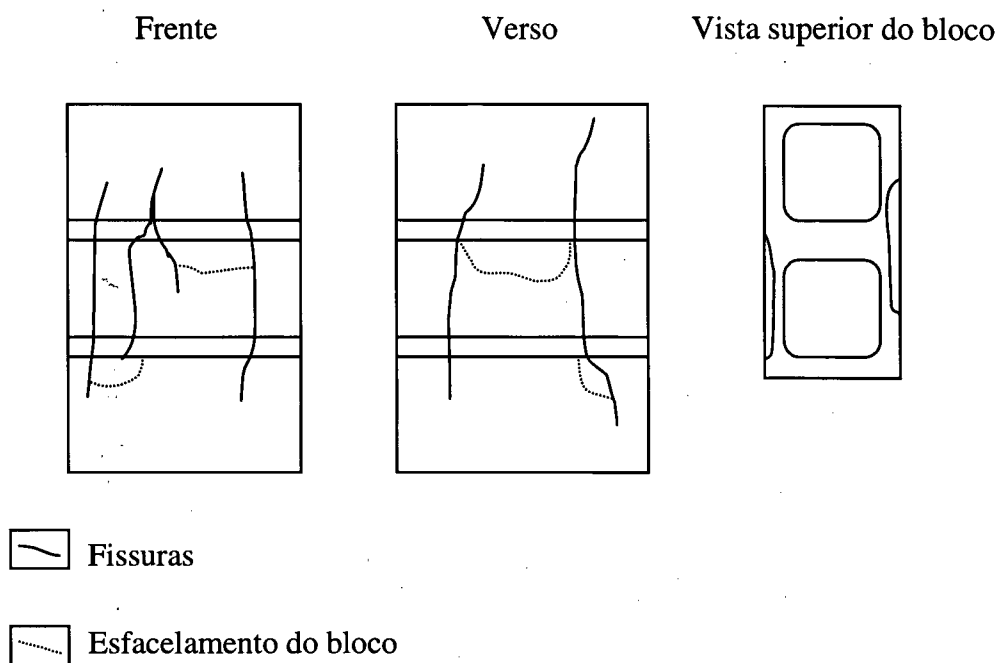


Figura 4.45. Tipo de ruptura de prismas moldados utilizando a argamassa com 20% de sílica ativa (S2).

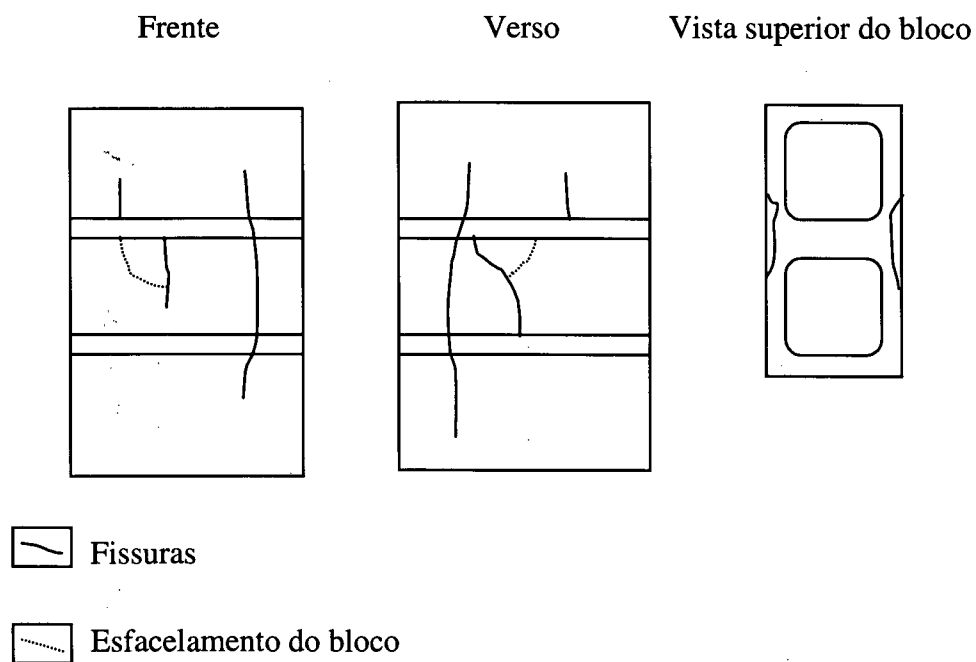


Figura 4.46. Tipo de ruptura de prismas moldados utilizando a argamassa com 5% de látex polímero EVLC (P2).

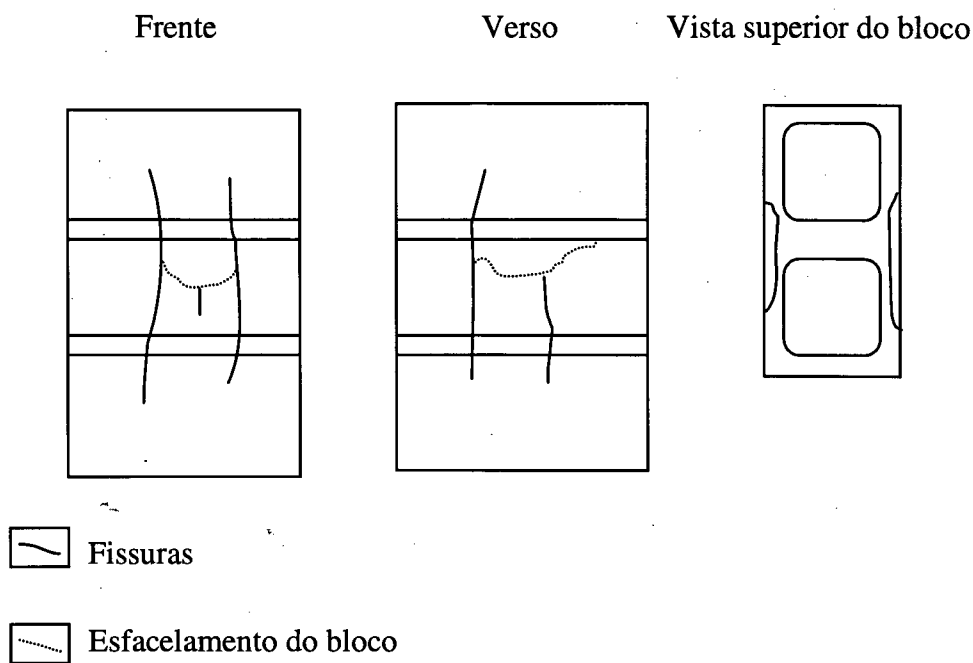


Figura 4.47. Tipo de ruptura de prismas moldados utilizando a argamassa com 5 % de látex polímero EVLC (P5).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5. Conclusões.

Apresenta-se, a seguir, as principais conclusões obtidas a partir da análise microestrutural e dos resultados dos ensaios das argamassas com sílica ativa e das argamassas com látex polímero EVLC, bem como as conclusões acerca dos ensaios dos prismas moldados utilizando as argamassas com propriedades modificadas.

5.1. Análise microestrutural e ensaios das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa.

Há uma interdependência significativa entre a microestrutura e as propriedades das argamassas mistas (cimento e cal hidratada) com substituição de cimento Portland por sílica ativa. A densificação da microestrutura conduz a aumentos significativos de resistência mecânica e de estanqueidade, reduzindo contudo a trabalhabilidade das argamassas. Segundo MALHORTA et al. (1996), o mesmo comportamento é verificado em argamassas onde o aglomerante é unicamente o cimento Portland.

Nas argamassas simples de cimento, a sílica ativa atua principalmente na região da interface pasta-agregado, onde há maior concentração de Ca(OH)_2 oriundo da reação de hidratação do cimento, segundo MALHORTA et al. (1996). Já nas argamassas mistas,

como a cal está melhor distribuída na pasta, não ocorre a concentração da sílica ativa na região da interface pasta-agregado.

Para um dado teor de sílica ativa, o C-S-H da superfície dos poros apresenta uma tendência em concentrar-se mais em Silício que o C-S-H da pasta. O C-S-H da interface pasta-agregado torna-se mais pobre em Silício do que na pasta. Devido ao efeito de parede, o hidróxido de cálcio produzido pela hidratação do cimento precipita sempre em maiores quantidades na interface pasta-agregado, aumentando a relação Ca/Si.

Em argamassas simples de cimento com sílica ativa, segundo TAYLOR (1992) e MALHORTA et al. (1996), constata-se a presença somente de C-S-H tipo III em qualquer idade. Nas argamassas mistas com sílica ativa, além da precipitação do C-S-H tipo III ocorre a formação de C-S-H tipos I e II nos pequenos poros residuais da pasta. Constata-se ainda a presença de pequena quantidade de hidróxido de cálcio.

Há uma redução significativa do índice de consistência e, conseqüentemente, da trabalhabilidade de argamassas mistas de cimento e cal com sílica ativa. Esta diminuição acentuada da trabalhabilidade é o maior limite tecnológico à utilização de teores elevados de sílica ativa, visto que há um prejuízo na aplicabilidade do material de assentamento.

Há uma tendência de aumento da densidade de massa à medida que substitui-se maior quantidade de cimento por sílica ativa. Tal comportamento é coerente com o efeito de preenchimento dos interstícios da pasta da argamassa pelas partículas microscópicas da sílica ativa. Desta forma, estas argamassas com densidade de massa mais elevada apresentam menor teor de ar incorporado, contribuindo para a densificação do material.

Outra propriedade importante de argamassas no estado fresco, a retenção de água, apresenta um aumento significativo com a substituição de cimento por sílica ativa. A justificativa para este comportamento seria a elevada superfície específica dos grãos microscópicos de sílica ativa, os quais retêm quantidade maior de água que os grãos de cimento das argamassas convencionais. Argamassas com retenção de água maiores que as convencionais permitem uma hidratação adequada do cimento Portland, contribuindo para níveis satisfatórios de resistência à compressão e de aderência do material de assentamento.

A resistência à compressão e a estanqueidade de argamassas mistas de cimento e cal apresentam um aumento significativo à medida que cresce o teor de substituição de cimento por sílica ativa. A explicação para este comportamento seria o efeito microfíler e a excelente atividade pozolânica da adição mineral.

Há uma tendência de aumento da resistência à tração com a substituição de teores progressivamente maiores de cimento por sílica ativa. A justificativa de tal comportamento seria a densificação da pasta de aglomerante, visualizada na análise microestrutural com MEV, diminuindo, desta forma, a tendência de formação de microfissuras que levam à ruptura do material. O aumento da resistência à tração de materiais frágeis como as argamassas pode ser útil para determinadas aplicações em engenharia civil.

O módulo de deformação de argamassas com substituição de cimento por sílica ativa apresenta uma tendência de aumento. Desta forma, verifica-se um aumento da rigidez de argamassas com sílica ativa, diminuindo sua deformabilidade.

5.2. Análise microestrutural e ensaios das argamassas com adição de látex polímero EVLC.

A microestrutura e as propriedades das argamassas com adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno (EVLC) apresentam uma relação significativa. A excessiva incorporação de ar, decorrente do procedimento de mistura utilizado (NBR 14082(1998)) e dos agentes de superfície do látex polímero EVLC, originou uma microestrutura com porosidade substancial. A incorporação excessiva de ar e consequente elevada porosidade, visualizada na análise microestrutural, resultaram em aumento da trabalhabilidade, mas diminuição da retenção de água, da resistência mecânica e da estanqueidade.

As argamassas com adição de látex polímero EVLC apresentam três morfologias de C-S-H, a estrutura acicular-fibrosa do C-S-H tipo I, a estrutura em forma de colméia do C-S-H tipo II e a estrutura mais densificada, quase esferas, do C-S-H tipo III. Verifica-se

também a presença de grandes placas hexagonais de Ca(OH)_2 , que devido a elevada porosidade da pasta tiveram espaço suficiente para desenvolver-se.

A visualização do filme de polímero através da análise com microscópio eletrônico de varredura é difícil visto que a fase de cimento hidratado e a fase de polímero, formada pela coalescência das partículas do material, se interpenetram, unindo os agregados e formando uma matriz monolítica.

O índice de consistência das argamassas não difere significativamente à medida em que aumenta-se o teor de adição de látex polímero EVLC, para um fator água/cimento constante. Contudo, há uma tendência de aumento do índice de consistência e, conseqüentemente, da trabalhabilidade com a adição do polímero. A explicação para o aumento da consistência seria o efeito lubrificante das partículas de polímero e de ar incorporado, bem como o efeito dispersante dos surfactantes do látex.

Verifica-se uma redução da quantidade de água necessária (expressa através do fator água/cimento) para obtenção de dado nível de trabalhabilidade à medida que adiciona-se às argamassas mistas teores maiores de látex polímero EVLC. Além disso, a quantidade de água necessária para dada trabalhabilidade é influenciada pela utilização dos procedimentos de mistura da NBR 13276 (1995) ou da NBR 14082 (1995).

A densidade de massa de argamassas mistas diminui significativamente com o aumento do teor de adição de látex polímero cloro-laurato de vinila etileno, para um fator água/cimento constante. A explicação para este comportamento seria a elevada incorporação de ar decorrente da ação dos agentes de superfície utilizados como emulsificantes e estabilizantes.

À um nível de trabalhabilidade constante, há uma diminuição significativa da densidade de massa das argamassas com EVLC à medida que aumenta-se o teor de adição.

A densidade de massa das argamassas de referência com procedimentos de mistura distintos não difere significativamente, para um mesmo índice de consistência. A densidade de massa das argamassas com 2,5 e 5 % de adição de polímero difere significativamente da densidade da argamassa de referência S0.

Há uma tendência de redução da retenção de água das argamassas com adição de látex polímero EVLC, para um fator água/cimento constante. Segundo CHANDRA et al. (1994), em argamassas simples de cimento modificadas com polímero a retenção de água geralmente aumenta, devido às propriedades coloidais hidrofílicas dos látex polímeros e à inibição da evaporação de água decorrente do efeito de preenchimento e enclausuramento oferecido pelo filme de polímero.

A justificativa para tal comportamento em argamassas mistas com adição de EVLC seria a formação excessiva de vazios de ar, constatada pela diminuição significativa da densidade de massa. Os vazios de ar originaram uma massa menos densa que retém de modo menos eficiente a água de amassamento.

Para um mesmo índice de consistência, as argamassas com até 5 % de adição de látex polímero EVLC apresentam retenção de água com a mesma ordem de grandeza que argamassas de assentamento convencionais. A retenção de água de argamassas de assentamento não é significativamente influenciada pela utilização de procedimentos de mistura diferentes ou pela adição de até 5 % de látex polímero, a um mesmo nível de trabalhabilidade.

Para um fator água/cimento constante, as argamassas com látex polímero EVLC apresentam uma diminuição significativa da resistência à compressão com o aumento do teor de adição. Segundo CHANDRA et al. (1994), argamassas simples de cimento modificadas com látex geralmente não apresentam redução de resistência à compressão, mas isto depende de fatores tais como os tipos de materiais usados (látex, cimento e agregados), os traços (fator água/cimento, relação polímero/cimento), etc.

A justificativa para a redução da resistência à compressão de argamassas mistas com adição de EVLC seria a incorporação excessiva de ar, que ao originar vazios no material prejudica a sua compacidade.

A argamassa de referência com procedimento de mistura conforme a NBR 14082 (1995) alcança níveis de resistência à compressão equiparados ao da argamassa com procedimento de mistura usual (conforme a NBR 13276), para um índice de consistência constante.

As argamassas com adição de 2,5 e 5 % de látex polímero EVLC apresentam uma tendência de redução da resistência à compressão quando comparadas com as argamassas de referência com procedimentos de mistura distintos, a um nível de trabalhabilidade constante.

Argamassas mistas com adição de látex polímero EVLC apresentam uma diminuição significativa da resistência à tração, para um mesmo fator água/cimento. CHANDRA et al. (1994) relata que argamassas simples de cimento modificadas com polímero apresentam um aumento considerável na resistência à tração, devido a contribuição oferecida pela elevada resistência à tração dos polímeros e uma melhoria global na ligação cimento-agregado. A incorporação excessiva de ar seria a justificativa para a redução da resistência à tração das argamassas mistas com adição de látex polímero EVLC, da mesma forma que ocorre com a resistência à compressão.

À um nível de trabalhabilidade constante, as argamassas com adição de EVLC apresentam resistências à tração equiparadas às da argamassa de referência S0, a qual é a argamassa com procedimento de mistura empregado usualmente.

Para um mesmo fator água/cimento, o módulo de elasticidade tangente das argamassas mistas diminui significativamente à medida que aumenta-se o teor de adição de látex polímero EVLC. Desta forma, há uma redução significativa da rigidez da argamassa, tornando-a mais deformável. Há uma tendência de redução do módulo de deformação secante com a adição de látex polímero EVLC, sendo coerente com a diminuição do módulo de deformação tangente.

À um mesmo nível de trabalhabilidade, as argamassas com adição de 2,5 e 5 % de EVLC apresentam módulos de deformação tangente e secante significativamente diferentes da argamassa de referência S0, demonstrando uma tendência de redução.

Quando comparadas as argamassas de referência com procedimentos de mistura distintos constata-se que os módulos de deformação tangente e secante apresentam a mesma ordem de grandeza. Analisando-se apenas as argamassas com adição de látex

polímero EVLC (P0, P1 e P2) há uma tendência de redução dos módulos de deformação tangente e secante, para um mesmo índice de consistência.

Para um fator água/cimento constante, o coeficiente de Poisson das argamassas não difere significativamente à medida que aumenta-se o teor de adição de látex polímero EVLC. A medição do coeficiente de Poisson exige muita precisão, uma vez que os valores obtidos são da ordem de 10^{-5} m. O coeficiente de variação elevado prejudicou a representatividade das medições.

Os coeficientes de Poisson da argamassa de referência S0 e das argamassas com 0; 2,5 e 5 % de adição de látex polímero EVLC não diferem significativamente, quando comparadas entre si. Uma vez que os valores medidos são da ordem do μ m, torna-se difícil obter o nível de precisão necessário para que tenha-se uma confiabilidade adequada dos resultados.

Há um aumento significativo da absorção por imersão das argamassas mistas com o aumento do teor de adição de EVLC, para um fator água/cimento constante. Argamassas simples de cimento modificadas com polímero apresentam redução da absorção de água devido a estrutura formada, onde os vazios existentes podem ser preenchidos pelo látex polímero ou selados por um filme contínuo.

A explicação para o aumento significativo da absorção de água de argamassas com adição de látex polímero EVLC seria a incorporação excessiva de ar, que origina uma microestrutura com elevada porosidade.

Os valores de absorção de água das argamassas de referência com procedimentos de mistura distintos não diferem significativamente para um mesmo índice de consistência, enquanto as demais argamassas com 2,5 e 5 % de EVLC apresentam absorção de água significativamente diferente da argamassas de referência S0.

Quando analisadas apenas as argamassas com adição de látex polímero (P3, P4 e P5) há uma tendência de aumento da absorção de água por imersão com o aumento do teor de adição de EVLC.

5.3. Ensaaios com prismas de blocos de concreto.

A utilização de argamassas de assentamento modificadas com sílica ativa e látex polímero EVLC não influi significativamente sobre a resistência à compressão de prismas de blocos de concreto.

Para todas comparações entre a resistência dos prismas, constatou-se não haver diferenças significativas. As resistências à compressão dos prismas moldados utilizando-se a argamassa de referência S0 e as argamassas com 20 % de sílica ativa e 5 % de látex polímero EVLC (fator água/cimento de 1,85) não diferem de modo significativo, quando comparados entre si.

Da mesma forma, não há diferença significativa entre a resistência à compressão dos prismas moldados utilizando a argamassa de referência S0 e a argamassa com 5 % de EVLC, ambas apresentando um nível de trabalhabilidade igual.

As curvas tensão x deformação dos prismas moldados com tipos diferentes de argamassas não apresentam diferença substancial entre si. Não há diferenças representativas entre o módulo de elasticidade secante dos prismas.

Os fatores de eficiência dos prismas de alvenaria de blocos de concreto não são modificados substancialmente com a utilização de argamassas com sílica ativa e látex polímero EVLC. Há uma tendência de redução do fator de eficiência ao utilizar-se as argamassas com látex polímero EVLC, as quais apresentam resistência mecânica e módulo de elasticidade menores do que a argamassa de referência S0.

As relações entre o módulo de elasticidade das argamassas modificadas com sílica ativa e látex polímero EVLC e o módulo de elasticidade do bloco (E_a/E_b) não são substancialmente diferentes.

Desta forma, os módulos de deformação modificados das argamassas de assentamento com sílica ativa e látex polímero EVLC não apresentam influência significativa sobre os valores de resistência à compressão e de fator de eficiência dos prismas de alvenaria de blocos de concreto.

A forma de ruptura é a mesma para todos os prismas ensaiados. A ruptura ocorre com fissuração vertical ao longo da secção transversal, acompanhada por esfacelamento da superfície dos blocos. A junta de argamassa perde a capacidade de suporte próximo a ruptura.

A justificativa para o tipo de ruptura verificado seria que as argamassas utilizadas apresentam módulos de deformação baixos e, conseqüentemente, elevada deformabilidade, originando significativas tensões de tração laterais no bloco e causando o esfacelamento da superfície deste.

5.4. Recomendações para trabalhos futuros.

Pode-se sugerir estudos que aprofundem a análise microestrutural das argamassas mistas de cimento e cal com sílica ativa ou látex polímero EVLC, em várias idades (3, 7, 14, 21,... dias), através da realização de ensaios de difração de raios-X, análises termogravimétricas, permeabilidade ao mercúrio, etc., buscando uma melhor compreensão da microestrutura formada.

Estudos aprofundados da microestrutura podem possibilitar o aperfeiçoamento das propriedades das argamassas com sílica ativa ou EVLC, uma vez que a microestrutura e as propriedades estão intrinsecamente relacionadas. Desta forma, propriedades que dificultam determinada aplicação das argamassas mistas com sílica ativa ou EVLC em engenharia civil podem ser aperfeiçoadas pela alteração da microestrutura.

Além disso, podem ser desenvolvidos estudos que avaliem demais propriedades importantes das argamassas de assentamento e que não foram consideradas no presente trabalho, tais como resistência de aderência e retração por secagem.

A viabilidade da utilização de argamassas com sílica ativa e argamassas com látex polímero EVLC para outros fins, tais como assentamento de revestimentos cerâmicos, revestimento ou rejuntamento pode ser estudada em trabalhos posteriores.

A continuação deste trabalho, utilizando-se outros traços de argamassa e blocos com outros níveis de resistência, permitiria um conhecimento mais aprofundado do comportamento das argamassas com substituição de cimento por sílica ativa e das argamassas com adição de látex polímero EVLC, além do comportamento de prismas de alvenaria moldados com tais argamassas.

O desenvolvimento de novas formulações para argamassas e blocos pode trazer modificações benéficas às propriedades dos materiais, adequando-os melhor às solicitações das paredes de alvenaria estrutural. Em consequência, melhorias tecnológicas podem ser obtidas, como por exemplo o aumento do fator de eficiência de paredes de alvenaria com blocos de resistência elevada. Pode-se sugerir o desenvolvimento de estudos utilizando-se outras adições em argamassas de assentamento tais como fibras, ou, ainda, modificando-se a formulação dos blocos, através da utilização de fibras, aço, etc.

Considerando-se a importância da deformabilidade da argamassa sobre o comportamento da alvenaria, torna-se necessário desenvolver um modo de medição efetivo das deformações que ocorrem na junta de argamassa dos prismas de alvenaria.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALY, V.L.C.; e SABBATINI, F.H. Determinação de correlações de resistência mecânica de paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto. In: *5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries*, proceedings, p. 115-126. Florianópolis, SC, agosto, 1994.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*, ASTM C 270-86b. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1987.
3. _____. *Standard Specification for Fly Ash Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*. ASTM C 618. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1978.
4. _____. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Masonry Units*. ASTM C 1006. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1984.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural – Especificação*, NBR 6136. Rio de Janeiro, 1982.
6. _____. *Cal hidratada para argamassas*, NBR 7175. Rio de Janeiro, 1992.
7. _____. *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio*, NBR 7184. Rio de Janeiro, 1982. /99/
8. _____. *Ensaio de cimento Portland*, NBR 7215. Rio de Janeiro, 1982.
9. _____. *Agregados – Determinação da composição granulométrica*, NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.
10. _____. *Determinação do teor de argila em torrões nos agregados – Método de ensaio*, NBR 7218. Rio de Janeiro, 1987.

11. ____ *Determinação do teor de material pulverulento nos agregados – Método de ensaio*, NBR 7219. Rio de Janeiro, 1987.
12. ____ *Agregados – Determinação de impurezas orgânicas e húmicas em agregados*, NBR 7220. Rio de Janeiro, 1987.
13. ____ *Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio*, NBR 7222. Rio de Janeiro, 1983.
14. ____ *Agregados – Determinação de massa unitária*, NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982.
15. ____ *Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação*, NBR 8522. Rio de Janeiro, 1984.
16. ____ *Execução e Controle de Obras em Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto*, NBR 8798. Rio de Janeiro, 1985.
17. ____ *Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Método de ensaio*, NBR 9778. Rio de Janeiro, 1987.
18. ____ *Blocos vazados de concreto simples - Determinação da absorção de água, teor de umidade e área líquida – Método de ensaio*, NBR 12118. Rio de Janeiro, 1991.
19. ____ *Materiais Pozolânicos - Especificação*, NBR 12653. Rio de Janeiro, 1992.
20. ____ *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência padrão*, NBR 13276. São Paulo, 1995.
21. ____ *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água*, NBR 13277. São Paulo, 1995.
22. ____ *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado*, NBR 13278. São Paulo, 1995.
23. ____ *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da Resistência à Compressão*, NBR 13279. São Paulo, 1995.

24. ____ *Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - Execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios*, NBR 14082. Rio de Janeiro, 1998.
25. BRITISH STANDARD INSTITUTION. *Structural use of unreinforced masonry*, BS 5628: Part 1. Londres, 1992.
26. ____ *Materials and components, design and workmanship*, BS 5628: Part 3. Londres, 1985.
27. ____ *Sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry*, BS 1200. Londres, 1976.
28. ____ *Testing concrete - Part 121. Method for determination of static modulus of elasticity in compression*, BS 1881: Part 121. 1983.
29. BOULT, B.F. Concrete masonry prism testing. *American Concrete Institute Journal*, p. 513-535. Abril, 1979.
30. CARASEK, H.; CASCUDO, O.; CINCOTTO, M.A. e DJANIKIAN, J.G. Microestrutura da interface argamassa/tijolo cerâmico. In: *II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, p. 469-483. Salvador, BA, 1997.
31. CAVALHEIRO, O.P. Argamassa de Assentamento: Receita, Dosagem ou Adequação de Traço? In: *I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, p. 134-142. Goiânia, GO, 1995.
32. CHANDRA, S.; e OHAMA, Y. *Polymers in concrete*. CRC Press. Boca Raton, Florida, 1994.
33. CHEEMA, T.S.; e KLINGER, R.E. Compressive strength of concrete masonry prism. *American Concrete Institute Journal*, p. 88-97. January/February, 1986.
34. COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. *Eurocode N° 6: Design of masonry structures - Part 1.1 : General rules for buildings - rules for reinforced and unreinforced masonry*. 1996.
35. DAVIDSON, J.I. Masonry Mortar. *Canadian Building Digest*, National Research Council of Canada. Ottawa, Canadá, 1974.

36. DIAMOND, S. The microstructures of cement paste in concrete. *Proceedings of VIII Congress on Cement Chemistry*, p. 122-147. Rio de Janeiro, Brasil, 1986.
37. FILOMENO, O. L. Caracterização das argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis e estudo comparativo entre argamassas de assentamento de cimento e cal e cimento e saibro. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 1993. 85p.
38. FRANCO, L.S. A capacidade resistente de paredes de alvenaria. In: *Anais EPUSP, Série A*, v. 1, p. 77-94. São Paulo, 1988.
39. GOMES, N.S. *A resistência das paredes de alvenaria*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1983. 190 p.
40. HAMID, A.A. e DRYSDALE, R.G. Suggested failure criteria for masonry under axial compressive. *American Concrete Institute Journal*, 76, nº 10, p. 1047-1061. 1979.
41. HOLM, T.A. Structural Properties of Block Concrete. *Proceedings of North America Masonry Conference*. Boulder, CO, agosto, 1978.
42. KHALAF, F.M. Factors influencing compressive strength of concrete masonry prisms. *Magazine of Concrete Research*, 48, nº 175, p. 95-101. Junho, 1996,
43. LAWRENCE, S.J.; e CAO, H.T. Microestrutura of the interface between brick and mortar. In: *8th International Brick and Block Masonry Conference. Proceedings*, v. 1., p. 194-204. Dublin, September, 1988.
44. MALHORTA, V.M.; e MEHTA, P.K.. *Pozzolanic and Cementitious Materials. Advances in Concrete Technology*. Vol.1, Overseas Publishers Association. Ottawa, Canadá, 1996.
45. LARRARD, F., GORSE, J.F.; e PUCH, C. Comparative study of various silica fume as additives in high-performance cementitious materials. *Materials and Structures*. 25, p. 265-272. 1992.

46. MENDES, R.J.K. *Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 1998, 200 p.
47. MOHAMAD, G. *Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 1998, 180p.
48. MONTEIRO, P.J.M. *Controle da microestrutura para o desenvolvimento de concretos de alto desempenho*. Boletim Técnico Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 1993. 22p.
49. OHAMA, Y. Polymer modified mortars and concretes, in *Concrete Admixtures Handbook*, Ramachandran, V.S., p. 341, Ed. Noyes Publishing. Park Ridge, NJ, 1984.
50. _____. Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes. *American Concrete Institute Materials Journal*, . 511-518. Novembro/dezembro, 1987.
51. OLIVEIRA JR, V.; e PINHEIRO, L.M. Análise de paredes de alvenaria estrutural calculadas no estado limite último. In: *5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Proceedings*, p. 295-304. Florianópolis, SC, agosto, 1994.
52. INTERNATIONAL UNION OF TESTING AND RESEARCH LABORATORIES FOR MATERIALS AND STRUCTURES – RILEM. MR-3 *The complex workability – consistence – plasticity*. 1st ed.. França, 1982.
53. SABBATINI, F.H. *O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcárea*. Dissertação de mestrado. EPUSP, USP. São Paulo, 1984. 298 p.
54. _____. *Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente*. Boletim Técnico 02/86, EPUSP. São Paulo, 1986. 26 p.
55. SCHULER, A.; e DALMOLIN, D.C.C. Argamassas com adição de microsilica: estudo de suas propriedades como material para reforço e recuperação de estruturas de

- concreto armado. *Anais do Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. São Paulo, SP, novembro, 1993.
56. SILVA, L. F. Argamassas com Microsílica: Estudo de Consistência e Resistência. 30^a *Reunião Anual do IBRACON*. Rio de Janeiro, 1988.
57. STORTE, M. Látex Estireno-Butadieno. Aplicação em concretos de cimento e polímero. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.
58. TAYLOR, H.F.W. *Cement Chemistry*, Academic Press Limited, 2^a edição. Londres, 1992.
59. TEZUKA, Y. *Concreto de cimento e polímero*. Publicação da Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 1988. 30 p.
60. WAGNER, H.B.; e GREENLY, D.G. Interphase effects in polymer-modified hydraulic cements. *Journal Applied Polymer Science*, p. 813. 1978.
61. YOOL, A. e LEES, T.P. The Potential Shrinkage of Mortars: Effect of Sand Characteristics. *Masonry International*, vol. 11, nº 3. 1998.

Anexo A

Tabela A.1. Análise estatística dos valores de índice de consistência das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

Teor de s.a. (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (mm)	Sd (mm)	CV (%)
0	253,70	264,20	259,95	259,28	5,28	2,04
10	240,20	241,23	237,17	239,53	2,11	0,88
20	224,10	233,70	227,90	228,57	4,83	2,12

Tabela A.2. Comparação entre as médias de índice de consistência das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

SQG	1453,84	k-1	2	rk			Rk	
SQR	111,47	Ni-k	6	3,46	x3-x1	30,717	10,80	DS
SQT	1565,32	Ni-1	8	4,34	x3-x2	19,75	8,610	DS
CT	529086,51	F	39,126		x2-x1	10,967	8,610	DS
MQG	726,9219	F0,05(2,6)	5,14					
MQR	18,57898		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela A.3. Análise estatística dos valores de densidade de massa das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

Teor de s.a. (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (g/cm³)	Sd (g/cm³)	CV (%)
0	1,933	1,929	1,951	1,938	0,012	0,607
10	1,969	1,951	1,973	1,964	0,012	0,597
20	1,993	1,965	1,973	1,977	0,014	0,717

Tabela A.4. Comparação entre as médias de densidade de massa das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

SQG	0,0024	k-1	2	rk			Rk	
SQR	0,0010	Ni-k	6	3,46	x3-x1	0,0350	0,0316	DS
SQT	0,0034	Ni-1	8	4,34	x3-x2	0,0108	0,0252	NDS
CT	34,56	F	7,66		x2-x1	0,0242	0,0252	NDS
MQG	0,0012	F 0,05(2,6)	5,14					
MQR	0,0002		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela A.5. Análise estatística dos valores de retenção de água das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

Teor de s.a. (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (%)	Sd (%)	CV (%)
0	88,262	89,120	88,504	88,629	0,442	0,499
10	91,273	90,638	89,302	90,404	1,006	1,113
20	93,036	93,430	93,300	93,255	0,201	0,215

Tabela A.6. Comparação entre as médias de retenção de água das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

SQG	32,6845	k-1	2	rk			Rk	
SQR	2,4955	Ni-k	6	3,46	x3-x1	4,6264	1,61596	DS
SQT	35,1799	Ni-1	8	4,34	x3-x2	2,8510	1,2883	DS
CT	74140,95	F	39,2926		x2-x1	1,7754	1,2883	DS
MQG	16,34224	F0,05(2,6)	5,14					
MQR	0,4159112		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela A.7. Análise estatística dos valores de resistência à compressão das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante

Teor de s.a. (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (MPa)
0	6,81	6,32	6,62	6,58	0,25	3,75
10	7,29	7,00	7,05	7,11	0,16	2,23
20	8,10	7,65	7,95	7,90	0,23	2,90

Tabela A.8. Comparação entre as médias de resistência à compressão das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

SQG	2,6310	k-1	2	rk			Rk	
SQR	0,2769	Ni-k	6	3,46	x3-x1	1,3161	0,53832	DS
SQT	2,9080	Ni-1	8	4,34	x3-x2	0,7862	0,42917	DS
CT	466,42	F	28,5016		x2-x1	0,5299	0,42917	DS
MQG	1,315521	F0,05(2,6)	5,14					
MQR	0,046156		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela A.9. Análise estatística dos valores de resistência à tração das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante

Teor de s.a. (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0	0,87	0,97	0,79	0,88	0,09	10,28
10	1,06	1,13	0,93	1,04	0,10	9,71
20	1,04	1,25	1,39	1,23	0,18	14,46

Tabela A.10. Comparação entre as médias de resistência à tração das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

SQG	0,1846	k-1	2
SQR	0,0999	Ni-k	6
SQT	0,2845	Ni-1	8
CT	9,91	F	5,05
MQG	0,09231	F0,05(2,6)	5,14
MQR	0,01664		NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela A.11. Análise estatística dos valores de módulo de elasticidade tangente das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante

Teor de s.a. (%)	C.P. 1 (MPa)	C.P. 2 (MPa)	C.P. 3 (MPa)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0	9553,32	10935,60	10055,78	10181,57	699,67	6,87
10	10395,94	12671,28	10340,16	11135,79	1330,06	11,94
20	11714,56	12199,25	13838,76	12584,19	1113,19	8,84

Tabela A.12. Comparação entre as médias de módulo de elasticidade tangente das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

SQG	8781015,9	k-1	2
SQR	6995599,4	Ni-k	6
SQT	15776615,2	Ni-1	8
CT	1149314991,9	F	3,76
MQG	4390507,9	F0,05(2,6)	5,14
MQR	1165933,2		NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela A.13. Análise estatística dos valores de módulo de elasticidade secante das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante

Teor de s.a. (%)	C.P. 1 (MPa)	C.P. 2 (MPa)	C.P. 3 (MPa)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0	3187,88	3397,27	3293,41	3292,85	104,69	3,179419
10	3282,17	3568,49	4197,16	3682,60	468,05	12,70971
20	3735,39	4741,76	4827,12	4434,76	607,17	13,69119

Tabela A.14. Comparação entre as médias de módulo de elasticidade secante das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

SQG	2021579,5	k-1	2
SQR	1197373,4	Ni-k	6
SQT	3218952,9	Ni-1	8
CT	130193003,2	F	5,06
MQG	1010789,8	F0,05(2,6)	5,14
MQR	199562,2		NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela A.15. Curva tensão x deformação axial da argamassa S0 (C.P. 1).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
117	0,60	3,6	46,4	9,609E-05	2,879E-05
387	1,97	-3,7	44,2	3,173E-04	9,545E-05
506	2,58	-10	42,4	4,000E-04	1,212E-04
666	3,39	-22	39	7,636E-04	2,242E-04
770	3,92	-31	34	1,036E-03	3,757E-04
908	4,62	-45	27	1,460E-03	5,878E-04
1032	5,26	-65	14	2,066E-03	9,818E-04

Tabela A.16. Curva tensão x deformação axial da argamassa S0 (C.P. 2).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
120	0,61	32	1,2	4,470E-05	6,711E-05
364	1,85	29	-3,3	1,356E-04	2,034E-04
494	2,51	26,5	-9	1,666E-04	3,030E-04
606	3,08	26	-16	1,818E-04	5,151E-04
710	3,61	23	-25	2,727E-04	7,878E-04
834	4,24	19	-37	3,939E-04	1,151E-03
962	4,89	6	-60	7,878E-04	1,848E-03

Tabela A.17. Curva tensão x deformação axial da argamassa S0 (média).

Tensão média (MPa)	Deformação espec. média
0,00	0,0000000
0,60	0,0000592
1,91	0,0001880
2,55	0,0002477
3,24	0,0004212
3,77	0,0006182
4,44	0,0008985
5,08	0,0014212

Tabela A.18. Curva tensão x deformação axial da argamassa S1 (C.P. 1).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
108	0,55004	8,5	4,5	7,03203E-05	1,62087E-05
419	2,13395	1,75	3	2,7487E-04	6,1663E-05
588	2,99466	-0,5	-2	2,7273E-04	2,1212E-04
702	3,57526	-5	-8	4,0909E-04	3,9394E-04
844	4,29846	-10	-18	5,6061E-04	6,9697E-04
996	5,07259	-16	-36	7,4242E-04	1,2424E-03
1134	5,77541	-21	-65	8,9394E-04	2,1212E-03

Tabela A.19. Curva tensão x deformação axial da argamassa S1 (C.P. 2).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
99	0,5042	15	13,5	4,86104E-05	4,8733E-05
422	2,14923	9,75	8,25	2,0770E-04	2,0782E-04
564	2,87243	4,5	3,5	3,1818E-04	3,0303E-04
694	3,53451	-0,3	-0,5	4,6364E-04	4,2424E-04
846	4,30864	-8,5	-6,5	7,1212E-04	6,0606E-04
996	5,07259	-20	-13,5	1,0606E-03	8,1818E-04
1114	5,67356	-34	-22	1,4848E-03	1,0758E-03

Tabela A.20. Curva tensão x deformação axial da argamassa S1 (média).

Tensão média	Deformação espec. média
0,00	0,0000000
0,50	0,0000451
2,09	0,0001888
2,89	0,0002601
3,56	0,0004182
4,26	0,0006364
5,04	0,0009874
5,69	0,0014672

Tabela A.21. Curva tensão x deformação axial da argamassa S2 (C.P. 1).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
102	0,52	15,4	8,4	2,374E-05	6,172E-05
474	2,41	12,5	1	1,101E-04	2,860E-04
626	3,19	10	-4	1,424E-04	3,576E-04
792	4,03	7	-10	2,333E-04	5,394E-04
950	4,84	2	-19	3,848E-04	8,121E-04
1088	5,54	-2	-28	5,061E-04	1,085E-03
1252	6,38	-9,5	-46	7,333E-04	1,630E-03

Tabela A.22. Curva tensão x deformação axial da argamassa S2 (C.P. 2).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
93	0,474	14,7	7,8	3,385E-05	3,457E-05
480	2,445	12	1	1,748E-04	1,785E-04
628	3,198	8	9,5	2,364E-04	2,576E-04
780	3,973	3,5	5,8	3,727E-04	3,697E-04
940	4,787	-4	-1	6,000E-04	5,758E-04
1108	5,643	-13	-11	8,727E-04	8,788E-04
1264	6,437	-24	-26	1,206E-03	1,333E-03

Tabela A.23. Curva tensão x deformação axial da argamassa S2 (média).

Tensão média	Deformação espec. média
0,00	0,0000000
0,49	0,0000394
2,57	0,0002063
3,40	0,0002793
4,22	0,0004369
4,97	0,0006808
5,71	0,0009737
6,58	0,0014561

Tabela A.24. Análise estatística dos valores de coeficiente de Poisson das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante

Teor de s.a. (%)	C.p. 1	C.p. 2	Média	Sd	CV (%)
0	0,114	0,122	0,118	0,005	4,566
10	0,123	0,135	0,129	0,009	6,740
20	0,146	0,135	0,141	0,008	5,838

Tabela A.25. Comparação entre as médias de coeficiente de Poisson das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

SQG	0,0003	k-1	2
SQR	0,0337	Ni-k	6
SQT	0,0340	Ni-1	8
CT	0,07	F	0,03
MQG	0,00017	F0,05(2,6)	5,14
MQR	0,00561		NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F\bullet$ (k-1,Ni-k) e $x_i - x_j > R_k$

Tabela A.26. Análise estatística dos valores de absorção por imersão das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante

Teor de s.a. (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (%)	Sd (%)	CV (%)
0	12,90	12,88	12,92	12,90	0,02	0,16
10	12,20	12,01	12,29	12,17	0,14	1,18
20	11,82	11,94	11,84	11,87	0,06	0,55

Tabela A.27. Comparação entre as médias de absorção por imersão das argamassas com sílica ativa - fator a/c constante.

SQG	1,69	k-1	2	rk			Rk	
SQR	0,05	Ni-k	6	3,46	x3-x1	1,031	0,230	DS
SQT	1,74	Ni-1	8	4,34	x3-x2	0,734	0,183	DS
CT	1363,96	F	100,693		x2-x1	0,297	0,183	DS
MQG	0,84	F0,05(2,6)	5,14					
MQR	0,01		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F\bullet$ (k-1,Ni-k) e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.1. Análise estatística dos valores de índice de consistência das argamassas com EVLC - fator a/c constante

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (mm)	Sd (mm)	CV (%)
0	281,27	279,00	277,30	279,19	1,99	0,71
2,5	279,83	281,20	282,90	281,31	1,54	0,55
5	281,00	284,03	284,50	283,18	1,90	0,67

Tabela B.2. Comparação entre as médias de índice de consistência das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

SQG	23,8854	k-1	2
SQR	19,8882	Ni-k	6
SQT	43,7735	Ni-1	8
CT	711792,19	F	3,603
MQG	11,94268	F 0,05(2,6)	5,14
MQR	3,314694		NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (D.S.) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.3. Análise estatística dos valores de densidade de massa das argamassas com EVLC - fator a/c constante

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (g/cm³)	Sd (g/cm³)	CV (%)
0	1,940	1,927	1,914	1,924	0,016	0,809
2,5	1,786	1,808	1,796	1,797	0,011	0,611
5	1,729	1,727	1,721	1,725	0,005	0,262

Tabela B.4. Comparação entre as médias de densidade de massa das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

SQG	0,0606	k-1	2	rk			Rk	
SQR	0,0008	Ni-k	6	3,46	x3-x1	0,1984	0,0283	DS
SQT	0,0614	Ni-1	8	4,34	x3-x2	0,1269	0,0226	DS
CT	29,65	F	237,41		x2-x1	0,0715	0,0226	DS
MQG	0,0303	F 0,05(2,6)	5,14					
MQR	0,0001		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.5. Análise estatística dos valores de densidade de massa das argamassas com EVLC - índice de consistência constante.

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (g/cm³)	Sd (g/cm³)	CV (%)
0*	1,933	1,929	1,951	1,938	0,012	0,607
0*	1,929	1,938	1,929	1,932	0,005	0,256
2,5**	1,849	1,812	1,809	1,823	0,022	1,196
5**	1,731	1,711	1,748	1,730	0,019	1,086

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Tabela B.6. Comparação entre as médias de densidade de massa das argamassas com EVLC - índice de consistência constante.

SQG	0,0882	k-1	3	rk			Rk	
SQR	0,0020	Ni-k	8	3,46	x3-x1	0,2022	0,0424	DS
SQT	0,0902	Ni-1	11	4,34	x3-x2	0,1084	0,03421	DS
CT	41,32	F	118,694		x2-x1	0,0937	0,03421	DS
MQG	0,02942	F0,05(3,8)	4,07		x4-x1	0,208	0,04754	DS
MQR	0,00025		DS		x4-x2	0,114	0,0424	DS
					x4-x3	0,006	0,03421	NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.7. Análise estatística dos valores de retenção de água das argamassas com EVLC - fator a/c constante

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (%)	Sd (%)	CV (%)
0	87,601	86,030	87,770	87,134	0,960	1,101
2,5	85,754	87,142	86,792	86,563	0,722	0,834
5	85,049	85,453	85,250	85,261	0,202	0,237

Tabela B.8. Comparação entre as médias de retenção de água das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

SQG	5,5932	k-1	2	rk			Rk	
SQR	2,9651	Ni-k	6	3,46	x3-x1	1,883	1,761	DS
SQT	8,5583	Ni-1	8	4,34	x3-x2	0,571	1,404	NDS
CT	67053,67	F	5,65913		x2-x1	1,312	1,404	NDS
MQG	2,7966055	F0,05(2,6)	5,14					
MQR	0,494176		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.9. Análise estatística dos valores de retenção de água das argamassas com EVLC - índice de consistência constante.

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (%)	Sd (%)	CV (%)
0*	88,262	89,120	88,504	88,629	0,442	0,499
0*	87,512	86,728	87,830	87,357	0,566	0,648
2,5**	88,746	84,394	85,896	86,345	2,211	2,560
5**	87,467	86,506	84,102	86,025	1,733	2,015

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Tabela B.10. Comparação entre as médias de retenção de água das argamassas com EVLC - índice de consistência constante.

SQG	12,3864	k-1	3
SQR	16,8137	Ni-k	8
SQT	29,2001	Ni-1	11
CT	91013,56	F	1,964
MQG	4,1287881	F0,05(3,8)	4,07
MQR	2,1017111		NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.11. Análise estatística dos valores de resistência à compressão das argamassas com EVLC - fator a/c constante

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0	5,31	5,27	6,15	5,58	0,50	8,97
2,5	3,79	3,93	4,24	3,99	0,23	5,74
5	2,82	3,10	3,39	3,10	0,29	9,19

Tabela B.12. Comparação entre as médias de resistência à compressão das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

SQG	9,4173	k-1	2	rk			Rk	
SQR	0,7682	Ni-k	6	3,46	x3-x1	2,4723	0,89659	DS
SQT	10,1855	Ni-1	8	4,34	x3-x2	1,5890	0,71479	DS
CT	160,38	F	36,7765		x2-x1	0,8833	0,71479	DS
MQG	4,708667	F0,05(2,6)	5,14					
MQR	0,128035		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.13. Análise estatística dos valores de resistência à compressão das argamassas com EVLC - índice de consistência constante.

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0*	6,81	6,32	6,62	6,58	0,25	3,75
0*	6,45	5,94	6,07	6,15	0,27	4,31
2,5**	5,93	4,99	5,49	5,47	0,47	8,57
5**	5,11	4,94	4,99	5,01	0,09	1,77

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Tabela B.14. Comparação entre as médias de resistência à compressão das argamassas com EVLC - índice de consistência constante.

SQG	4,393	k-1	3	rk			Rk	
SQR	0,718	Ni-k	8	3,46	x3-x1	1,1385	0,807	DS
SQT	5,111	Ni-1	11	4,34	x3-x2	0,6836	0,651	DS
CT	404,43	F	16,312		x2-x1	0,4549	0,651	NDS
MQG	1,46	F0,05(3,8)	4,07		x4-x1	1,569	0,905	DS
MQR	0,090		DS		x4-x2	1,114	0,805	DS
					x4-x3	0,430	0,651	NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.15. Análise estatística dos valores de resistência à tração das argamassas com EVLC - fator a/c constante

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0	0,75	0,67	0,66	0,70	0,05	6,99
2,5	0,56	0,59	0,52	0,56	0,04	7,06
5	0,39	0,44	0,52	0,45	0,07	14,62

Tabela B.16. Comparação entre as médias de resistência à tração das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

SQG	0,091	k-1	2	rk			Rk	
SQR	0,016	Ni-k	6	3,46	x3-x1	0,246	0,131	DS
SQT	0,108	Ni-1	8	4,34	x3-x2	0,140	0,104	DS
CT	2,89	F	16,72		x2-x1	0,116	0,104	DS
MQG	0,046	F0,05(2,6)	5,14					
MQR	0,003		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.17. Análise estatística dos valores de resistência à tração das argamassas com EVLC - índice de consistência constante.

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0*	0,87	0,97	0,79	0,88	0,09	10,29
0*	0,75	0,87	0,88	0,83	0,07	8,59
2,5**	0,81	0,78	0,74	0,78	0,04	4,52
5**	0,67	0,71	0,76	0,71	0,05	6,77

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Tabela B.18. Comparação entre as médias de resistência à tração das argamassas com EVLC - índice de consistência constante.

SQG	0,044	k-1	3
SQR	0,034	Ni-k	8
SQT	0,078	Ni-1	11
CT	7,69	F	3,52
MQG	0,015	F0,05(3,8)	4,07
MQR	0,004		NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.19. Análise estatística dos valores de módulo de deformação tangente das argamassas com EVLC - fator a/c constante

Teor de EVLC (%)	C.P. 1 (MPa)	C.P. 2 (MPa)	C.P. 3 (MPa)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0	9287,95	9547,62	8684,31	9173,29	442,93	4,828453
2,5	7338,95	7293,50	7807,44	7479,96	284,51	3,803645
5	7008,78	5622,63	5390,28	6007,23	875,12	14,56771

Tabela B.20. Comparação entre as médias de módulo de deformação tangente das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

SQG	15060280,9	k-1	2	rk			Rk	
SQR	2085918,1	Ni-k	6	3,46	x3-x1	3166,1	1477,41	DS
SQT	17146198,9	Ni-1	8	4,34	x3-x2	1693,3	1177,85	DS
CT	513497554,5	F	21,65		x2-x1	1472,7	1177,85	DS
MQG	7530140,4	F0,05(2,6)	5,14					
MQR	347653,0		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.21. Análise estatística dos valores de módulo de deformação secante das argamassas com EVLC - fator a/c constante

Teor de EVLC (%)	C.P. 1 (MPa)	C.P. 2 (MPa)	C.P. 3 (MPa)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0	3534,99	3235,65	2756,04	3175,56	392,94	12,37382
2,5	2799,70	2455,71	2673,25	2642,89	174,00	6,583603
5	2429,23	2400,73	1961,32	2263,76	262,31	11,58741

Tabela B.22. Comparação entre as médias de módulo de deformação secante das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

SQG	1258864,3	k-1	2	rk			Rk	
SQR	506964,8	Ni-k	6	3,46	x3-x1	911,8	728,35	DS
SQT	1765829,0	Ni-1	8	4,34	x3-x2	532,7	580,67	NDS
CT	65322070,7	F	7,44		x2-x1	379,1	580,67	NDS
MQG	629432,1	F0,05(2,6)	5,14					
MQR	84494,1		DS					

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.23. Análise estatística dos valores de módulo de deformação tangente das argamassas com EVLC e argamassa S0- índice de consistência constante.

Teor de EVLC (%)	C.P. 1 (MPa)	C.P. 2 (MPa)	C.P. 3 (MPa)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0*	9553,32	10935,60	10055,78	10181,57	699,67	6,87
0**	9265,31	9658,26	9203,22	9396,29	246,75	2,62
2,5**	8790,45	6663,79	7827,660	7760,63	1064,91	13,72
5**	5401,65	7438,94	6238,740	6359,78	1024,02	16,10

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Tabela B.24. Comparação entre as médias de módulo de deformação tangente das argamassas com EVLC e argamassa S0- índice de consistência constante.

SQG	26086688,6	k-1	3	rk			Rk	
SQR	5466192,6	Ni-k	8	3,46	x3-x1	3036,5	2226,32	DS
SQT	31552881,2	Ni-1	11	4,34	x3-x2	1635,7	1796,49	NDS
CT	850634148,8	F	12,72		x2-x1	1400,9	1796,49	NDS
MQG	8695562,9	F0,05(3,8)	4,07		x4-x1	3821,8	2496,34	DS
MQR	683274,1		DS		x4-x2	2420,9	2226,32	DS
					x4-x3	785,3	1796,49	NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.25. Análise estatística dos valores de módulo de deformação secante das argamassas com EVLC e argamassa S0 - índice de consistência constante.

Teor de EVLC (%)	C.P. 1 (MPa)	C.P. 2 (MPa)	C.P. 3 (MPa)	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0*	3187,88	3397,27	3293,41	3292,85	104,69	3,179419
0**	3046,34	2994,94	3270,49	3029,21	146,522	4,837
2,5**	3061,300	2588,771	2383,840	2677,970	347,427	12,974
5**	2286,143	2638,150	2253,700	2392,664	213,215	8,911

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Tabela B.26. Comparação entre as médias de módulo de deformação secante das argamassas com EVLC e argamassa S0 - índice de consistência constante.

SQG	1494632,2	k-1	3	rk			Rk	
SQR	397191,1	Ni-k	8	3,46	x3-x1	636,5	600,13	DS
SQT	1891823,3	Ni-1	11	4,34	x3-x2	351,2	484,26	NDS
CT	98626150,6	F	10,04		x2-x1	285,3	484,26	NDS
MQG	498210,7	F0,05(3,8)	4,07		x4-x1	900,2	672,92	DS
MQR	49648,9		DS		x4-x2	614,9	600,13	DS
					x4-x3	263,6	484,26	NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F_{\alpha(k-1, Ni-k)}$ e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.27. Curva tensão x deformação axial da argamassa P0 (C.P. 1).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
105	0,53	16,25	20,5	5,819E-05	5,826E-05
315	1,60	12,4	16,75	1,748E-04	1,719E-04
420	2,13	10	11,5	1,969E-04	2,575E-04
532	2,71	6	9,5	3,181E-04	3,181E-04
654	3,33	-0,55	0,5	5,166E-04	5,909E-04
762	3,88	-10	-9	8,030E-04	8,787E-04
806	4,10	-17	-17	1,015E-03	1,121E-03

Tabela B.28 - Curva tensão x deformação axial da argamassa P0 (C.P. 2).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
105	0,535	20,25	22,15	6,168E-05	7,141E-05
315	1,604	16,2	17,5	1,844E-04	2,123E-04
420	2,139	14	12,5	1,894E-04	2,924E-04
532	2,709	11	10	2,803E-04	3,682E-04
654	3,331	4	0	4,924E-04	6,712E-04
762	3,881	-5,5	-7,5	7,803E-04	8,985E-04
806	4,105	-16,4	-17	1,111E-03	1,186E-03

Tabela B.29. Curva tensão x deformação axial da argamassa P0 (média).

Tensão média	Deformação espec. média
0,00	0,0000000
0,53	0,0000582
1,60	0,0001734
2,14	0,0002273
2,71	0,0003182
3,33	0,0005538
3,88	0,0008409
4,10	0,0010682

Tabela B.30. Curva tensão x deformação axial da argamassa P1 (C.P. 1).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
97	0,49	12	7,25	2,247E-05	1,123E-04
228	1,16	11	2,25	5,277E-05	2,638E-04
296	1,51	8	-2	1,212E-04	2,727E-04
372	1,89	5	-5,3	2,121E-04	3,727E-04
452	2,30	-0,2	-12	3,697E-04	5,758E-04
524	2,67	-5,5	-21	5,303E-04	8,485E-04
618	3,15	-16	-32	8,485E-04	1,182E-03

Tabela B.31. Curva tensão x deformação axial da argamassa P1 (C.P. 2).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
111	0,57	13,55	2,65	5,596E-05	9,994E-05
226	1,15	11,65	-0,75	1,135E-04	2,030E-04
306	1,56	8	-5	1,697E-04	2,212E-04
380	1,94	8,5	-7	1,545E-04	2,818E-04
446	2,27	7	-10	2,000E-04	3,727E-04
530	2,70	8	-32	1,697E-04	1,039E-03
606	3,09	-2	-55	4,727E-04	1,736E-03

Tabela B.32. Curva tensão x deformação axial da argamassa P1 (média).

Tensão média	Deformação espec. média
0,00	0,0000000
0,53	0,0000582
1,60	0,0001734
2,14	0,0002273
2,71	0,0003182
3,33	0,0005538
3,88	0,0008409
4,10	0,0010682

Tabela B.33. Curva tensão x deformação axial da argamassa P2 (C.P. 1).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
97	0,49	12,25	8,5	9,108E-05	8,451E-05
189	0,96	9,4	5,85	1,774E-04	1,648E-04
242	1,23	5,7	3	2,061E-04	1,667E-04
312	1,59	2,5	0	3,030E-04	2,576E-04
380	1,94	-2	-6,5	4,394E-04	4,545E-04
436	2,22	-8	-14	6,212E-04	6,818E-04
502	2,56	-15,5	-26	8,485E-04	1,045E-03

Tabela B.34. - Curva tensão x deformação axial da argamassa P2 (C.P. 2).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
98	0,50	13,5	4,75	7,772E-05	1,112E-04
187	0,95	11,2	1,5	1,474E-04	2,096E-04
268	1,36	7	-3,5	1,970E-04	2,576E-04
316	1,61	4,5	-6	2,727E-04	3,333E-04
384	1,96	-2	-12	4,697E-04	5,152E-04
440	2,24	-10,5	-20	7,273E-04	7,576E-04
508	2,59	-26	-32	1,197E-03	1,121E-03

Tabela B.35. Curva tensão x deformação axial da argamassa P2 (média).

Tensão média	Deformação espec. média
0,00	0,0000000
0,45	0,0000746
0,95	0,0001544
1,27	0,0001884
1,59	0,0002702
1,91	0,0004242
2,20	0,0006237
2,55	0,0009268

Tabela B.36. Curva tensão x deformação axial da argamassa P4 (C.P. 1).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
104	0,53	9,35	19,5	3,086E-05	8,318E-05
303	1,54	7,4	14,25	8,995E-05	2,423E-04
404	2,06	6	10	9,697E-05	3,030E-04
518	2,64	4	2,5	1,576E-04	5,303E-04
600	3,06	2	-4,5	2,182E-04	7,424E-04
716	3,65	-1	-15,5	3,091E-04	1,076E-03
804	4,09	-4,5	-31	4,152E-04	1,545E-03

Tabela B.37. Curva tensão x deformação axial da argamassa P4 (C.P. 2).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
90	0,46	14,75	19,75	1,306E-04	2,308E-05
294	1,50	5	18	4,260E-04	7,611E-05
394	2,01	-1,5	16	4,848E-04	1,212E-04
496	2,53	-11	13	7,727E-04	2,121E-04
598	3,05	-21	8	1,076E-03	3,636E-04
696	3,54	-35	2	1,500E-03	5,455E-04
798	4,06	-55	-7,5	2,106E-03	8,333E-04

Tabela B.38. Curva tensão x deformação axial da argamassa P4 (média).

Tensão média	Deformação espec. média
0,00	0,0000000
0,49	0,0000669
1,52	0,0002086
2,03	0,0002515
2,58	0,0004182
3,05	0,0006000
3,60	0,0008576
4,08	0,0012250

Tabela B.39. Curva tensão x deformação axial da argamassa P5 (C.P. 1).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
90	0,46	13,35	4,75	4,975E-05	1,200E-04
274	1,40	10	-3,35	1,513E-04	3,654E-04
394	2,01	7,5	-11,5	1,727E-04	4,848E-04
502	2,56	4,7	-23	2,576E-04	8,333E-04
622	3,17	0,5	-40	3,848E-04	1,348E-03
738	3,76	-4	-62,5	5,212E-04	2,030E-03
798	4,06	-7	-85	6,121E-04	2,712E-03

Tabela B.40. Curva tensão x deformação axial da argamassa P5 (C.P. 2).

Carga (kgf)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Base de medida 2	Deformação específica	Deformação específica
90	0,46	18,15	11,25	4,659E-05	1,186E-04
274	1,40	15	3,25	1,420E-04	3,610E-04
394	2,01	12	-5,8	1,909E-04	5,242E-04
502	2,56	9,8	-16	2,576E-04	8,333E-04
622	3,17	5	-34	4,030E-04	1,379E-03
738	3,76	0	-53,5	5,545E-04	1,970E-03
798	4,06	-3	-77	6,455E-04	2,682E-03

Tabela B.41. Curva tensão x deformação axial da argamassa P5 (média).

Tensão média	Deformação espec. média
0,00	0,0000000
0,46	0,0000849
1,40	0,0002584
2,01	0,0003288
2,56	0,0005455
3,17	0,0008667
3,76	0,0012758
4,06	0,0016621

Tabela B.42. Análise estatística dos valores de coeficiente de Poisson das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	Média	Sd	CV (%)
0	0,113	0,135	0,124	0,015	12,151
2,5	0,115	0,131	0,123	0,011	9,087
5	0,103	0,119	0,111	0,011	10,279

Tabela B.43. Comparação entre as médias de coeficiente de Poisson das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

SQG	0,0001	k-1	2
SQR	0,0289	Ni-k	6
SQT	0,0291	Ni-1	8
CT	0,06	F	0,01
MQG	7,1E-05	F0,05(2,6)	5,14
MQR	0,00482		NDS

OBS. Os valores diferem significativamente (DS) quando $F > F^*$ (k-1, Ni-k) e $x_i - x_j > R_k$

Tabela B.44. Análise estatística dos valores de coeficiente de Poisson das argamassas com EVLC e argamassa S0 - índice de consistência constante.

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
0*	0,114	0,122	0,118	0,005	4,566
0**	0,098	0,121	0,109	0,016	15,081
2,5**	0,124	0,100	0,112	0,017	15,622
5**	0,092	0,112	0,102	0,014	13,778

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Tabela B.45. Comparação entre as médias de coeficiente de Poisson das argamassas com EVLC e argamassa S0 - índice de consistência constante.

SQG	0,0002	k-1	3
SQR	0,0333	Ni-k	8
SQT	0,0334	Ni-1	11
CT	0,06	F	0,01
MQG	5,8E-05	F0,05(3,8)	4,07
MQR	0,00416		NDS

Tabela B.46. Análise estatística dos valores de absorção por imersão das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (%)	Sd (%)	CV (%)
0	13,01	13,01	12,95	12,99	0,03	0,27
2,5	13,28	13,15	13,18	13,20	0,07	0,52
5	13,58	13,40	13,67	13,55	0,13	0,99

Tabela B.48. Comparação entre as médias de absorção por imersão das argamassas com EVLC - fator a/c constante.

SQG	0,48	k-1	2	rk			Rk	
SQR	0,05	Ni-k	6	3,46	x3-x1	0,560	0,223	DS
SQT	0,53	Ni-1	8	4,34	x3-x2	0,346	0,178	DS
CT	1579,39	F	30,203		x2-x1	0,214	0,178	DS
MQG	0,24	F0,05(2,6)	5,14					
MQR	0,01		DS					

Tabela B.49. Análise estatística dos valores de absorção por imersão das argamassas com EVLC e argamassa S0 - índice de consistência constante.

Teor de EVLC (%)	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (%)	Sd (%)	CV (%)
0*	12,90	12,88	12,92	12,90	0,02	0,16
0**	13,06	13,11	13,19	13,12	0,07	0,50
2,5**	13,42	13,18	13,38	13,33	0,13	0,96
5**	13,82	13,51	13,59	13,64	0,16	1,18

* Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 13276

** Procedimento de mistura conforme a norma brasileira NBR 14082

Tabela B.50. Comparação entre as médias de absorção por imersão das argamassas com EVLC e argamassa S0 - índice de consistência constante.

SQG	0,89	k-1	3	rk			Rk	
SQR	0,09	Ni-k	8	3,46	x3-x1	0,428	0,293	DS
SQT	0,98	Ni-1	11	4,34	x3-x2	0,247	0,236	DS
CT	2105,33	F	24,975		x2-x1	0,221	0,236	NDS
MQG	0,30	F0,05(3,8)	4,07		x4-x1	0,738	0,328	DS
MQR	0,01		DS		x4-x2	0,517	0,293	DS
					x4-x3	0,310	0,236	NDS

Tabela C.1. Análise estatística dos valores de resistência à compressão, na área bruta, dos prismas moldados com as argamassas S0, S2, P2 e P5.

Designação da argamassa	C.p. 1	C.p. 2	C.p. 3	Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
S0 (referência)	8,86	9,65	11,31	9,94	1,25	12,58
S2 (20% s.a.)	8,93	10,20	11,31	10,15	1,19	11,73
P2 (5% EVLC)	9,10	8,67	8,82	8,86	0,22	2,48
P5 (5% EVLC)	8,77	9,29	9,63	9,23	0,43	4,64

Tabela C.2. Comparação entre as médias de resistência à compressão, na área bruta, dos prismas moldados com as argamassas S0, S2, P2 e P5.

SQG	3,25	k-1	3
SQR	6,43	Ni-k	8
SQT	9,67	Ni-1	11
CT	1093,16	F	1,347
MQG	1,08	F0,05(3,8)	4,07
MQR	0,80		NDS

Tabela C.3. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa S0 - Bases de medida 1 e 5

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Deformação específica	Base de medida 5	Deformação específica
0	0,00	855	0,000E+00	851	0,000E+00
25	0,45	848	3,500E-05	845	3,000E-05
50	0,90	843	6,000E-05	838	6,500E-05
75	1,36	836	9,500E-05	828	1,150E-04
100	1,81	826	1,450E-04	819	1,600E-04
125	2,26	818	1,850E-04	807	2,200E-04
150	2,71	808	2,350E-04	800	2,550E-04
175	3,17	796	2,950E-04	778	3,650E-04
200	3,62	768	4,350E-04	714	
250	4,52	751	5,200E-04	695	7,800E-04
300	5,43	719	6,800E-04	652	9,950E-04
350	6,33	681	8,700E-04	606	1,225E-03
400	7,24	632	1,115E-03	567	1,420E-03
450	8,14	578	1,385E-03	510	1,705E-03

Tabela C.4. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa S0 - Bases de medida 2 e 6.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 2	Deformação específica	Base de medida 6	Deformação específica
0	0,00	855	0,000E+00	855	0,000E+00
25	0,45	843	6,000E-05	852	1,500E-05
50	0,90	840	7,500E-05	844	5,500E-05
75	1,36	830	1,250E-04	837	9,000E-05
100	1,81	819	1,800E-04	828	1,350E-04
125	2,26	811	2,200E-04	818	1,850E-04
150	2,71	801	2,700E-04	810	2,250E-04
175	3,17	792	3,150E-04	799	2,800E-04
200	3,62	763	4,600E-04	715	
250	4,52	749	5,300E-04	705	7,500E-04
300	5,43	717	6,900E-04	659	9,800E-04
350	6,33	683	8,600E-04	600	1,275E-03
400	7,24	650	1,025E-03	552	1,515E-03
450	8,14	606	1,245E-03	498	1,785E-03

Tabela C.5. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa S0 - Bases de medida 3 e 7

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 3	Deformação específica	Base de medida 7	Deformação específica
0	0,00	855	0,000E+00	856	0,000E+00
25	0,45	848	3,500E-05	850	3,000E-05
50	0,90	846	4,500E-05	842	7,000E-05
75	1,36	839	8,000E-05	834	1,100E-04
100	1,81	831	1,200E-04	825	1,550E-04
125	2,26	818	1,850E-04	816	2,000E-04
150	2,71	809	2,300E-04	804	2,600E-04
175	3,17	797	2,900E-04	792	3,200E-04
200	3,62	734		780	3,800E-04
250	4,52	716	6,950E-04	748	5,400E-04
300	5,43	663	9,600E-04	710	7,300E-04
350	6,33	603	1,260E-03	663	9,650E-04
400	7,24	539	1,580E-03	611	1,225E-03
450	8,14	462	1,965E-03	548	1,540E-03

Tabela C.6. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa S0 - Bases de medida 4 e 8.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 4	Deformação específica	Base de medida 8	Deformação específica
0	0,00	858	0,000E+00	855	0,000E+00
25	0,45	853	2,500E-05	855	0,000E+00
50	0,90	850	4,000E-05	850	2,500E-05
75	1,36	845	6,500E-05	844	5,500E-05
100	1,81	839	9,500E-05	838	8,500E-05
125	2,26	832	1,300E-04	831	1,200E-04
150	2,71	824	1,700E-04	824	1,550E-04
175	3,17	815	2,150E-04	813	2,100E-04
200	3,62	773	4,250E-04	794	3,050E-04
250	4,52	764	4,700E-04	784	3,550E-04
300	5,43	748	5,500E-04	759	4,800E-04
350	6,33	725	6,650E-04	724	6,550E-04
400	7,24	705	7,650E-04	696	7,950E-04
450	8,14	684	8,700E-04	664	9,550E-04

Tabela C.7. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa S0 - média das bases de medida.

Tensão (MPa)	Deformação específica média
0,00	0,000E+00
0,45	2,875E-05
0,90	5,438E-05
1,36	9,188E-05
1,81	1,344E-04
2,26	1,806E-04
2,71	2,250E-04
3,17	2,863E-04
3,62	4,100E-04
4,52	5,800E-04
5,43	7,581E-04
6,33	9,719E-04
7,24	1,180E-03
8,14	1,431E-03

Tabela C.8. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa S2 - Bases de medida 1 e 5.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Deformação específica	Base de medida 5	Deformação específica
0	0,00	852	0,000E+00	858	0,000E+00
25	0,45	845	3,500E-05	845	6,500E-05
50	0,90	841	5,500E-05	834	1,200E-04
75	1,36	839	6,500E-05	826	1,600E-04
100	1,81	830	1,100E-04	811	2,350E-04
125	2,26	825	1,350E-04	801	2,850E-04
150	2,71	818	1,700E-04	787	3,550E-04
175	3,17	813	1,950E-04	773	4,250E-04
200	3,62	805	2,350E-04	744	5,700E-04
225	4,07	804	2,400E-04	709	7,450E-04
250	4,52	799	2,650E-04	683	8,750E-04
300	5,43	785	3,350E-04	643	1,075E-03
350	6,33	764	4,400E-04	602	1,280E-03
400	7,24	741	5,550E-04	557	1,505E-03
450	8,14	715	6,850E-04	510	1,740E-03

Tabela C.9. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa S2 - Bases de medida 2 e 6.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 2	Deformação específica	Base de medida 4	Deformação específica
0	0,00	849	0,000E+00	856	0,000E+00
25	0,45	832	8,500E-05	842	7,000E-05
50	0,90	831	9,000E-05	833	1,150E-04
75	1,36	825	1,200E-04	823	1,650E-04
100	1,81	818	1,550E-04	808	2,400E-04
125	2,26	810	1,950E-04	796	3,000E-04
150	2,71	803	2,300E-04	786	3,500E-04
175	3,17	795	2,700E-04	776	4,000E-04
200	3,62	780	3,450E-04	755	5,050E-04
225	4,07	767	4,100E-04	722	6,700E-04
250	4,52	757	4,600E-04	707	7,450E-04
300	5,43	740	5,450E-04	680	8,800E-04
350	6,33	716	6,650E-04	654	1,010E-03
400	7,24	692	7,850E-04	627	1,145E-03
450	8,14	668	9,050E-04	598	1,290E-03

Tabela C.10. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa S2 - Bases de medida 3 e 7.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 3	Deformação específica	Base de medida 7	Deformação específica
0	0,00	856	0,000E+00	858	0,0000E+00
25	0,45	848	4,000E-05	851	3,5000E-05
50	0,90	842	7,000E-05	845	6,5000E-05
75	1,36	834	1,100E-04	840	9,0000E-05
100	1,81	823	1,650E-04	830	1,4000E-04
125	2,26	813	2,150E-04	820	1,9000E-04
150	2,71	801	2,750E-04	813	2,2500E-04
175	3,17	792	3,200E-04	802	2,8000E-04
200	3,62	773	4,150E-04	799	2,9500E-04
225	4,07	735	6,050E-04	786	3,6000E-04
250	4,52	717	6,950E-04	774	4,2000E-04
300	5,43	683	8,650E-04	747	5,5500E-04
350	6,33	650	1,030E-03	712	7,3000E-04
400	7,24	614	1,210E-03	676	9,1000E-04
450	8,14	578	1,390E-03	640	1,0900E-03

Tabela C.11. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa S2 - Bases de medida 4 e 8.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 4	Deformação específica	Base de medida 8	Deformação específica
0	0,00	853	0,000E+00	863	0,000E+00
25	0,45	842	5,500E-05	858	2,500E-05
50	0,90	829	1,200E-04	852	5,500E-05
75	1,36	817	1,800E-04	847	8,000E-05
100	1,81	805	2,400E-04	842	1,050E-04
125	2,26	794	2,950E-04	835	1,400E-04
150	2,71	785	3,400E-04	829	1,700E-04
175	3,17	774	3,950E-04	820	2,150E-04
200	3,62	753	5,000E-04	809	2,700E-04
225	4,07	733	6,000E-04	797	3,300E-04
250	4,52	723	6,500E-04	790	3,650E-04
300	5,43	702	7,550E-04	771	4,600E-04
350	6,33	679	8,700E-04	752	5,550E-04
400	7,24	653	1,000E-03	730	6,650E-04
450	8,14	627	1,130E-03	707	7,800E-04

Tabela C.12. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa S2 - média das bases de medida.

Tensão (MPa)	Deformação específica média
0,00	0,000E+00
0,45	5,125E-05
0,90	8,625E-05
1,36	1,213E-04
1,81	1,738E-04
2,26	2,194E-04
2,71	2,644E-04
3,17	3,125E-04
3,62	3,919E-04
4,07	4,950E-04
4,52	5,594E-04
5,43	6,838E-04
6,33	8,225E-04
7,24	9,719E-04
8,14	1,126E-03

Tabela C.13. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa P2 - Bases de medida 1 e 2.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Deformação específica	Base de medida 5	Deformação específica
0	0,00	859	0,000E+00	856	0,000E+00
25	0,45	848	5,500E-05	850	3,000E-05
50	0,90	838	1,050E-04	845	5,500E-05
75	1,36	828	1,550E-04	841	7,500E-05
100	1,81	818	2,050E-04	836	1,000E-04
125	2,26	807	2,600E-04	827	1,450E-04
150	2,71	792	3,350E-04	818	1,900E-04
175	3,17	779	4,000E-04	808	2,400E-04
200	3,62	766	4,650E-04	795	3,050E-04
250	4,52	734	6,250E-04	765	4,550E-04
300	5,43	694	8,250E-04	726	6,500E-04
350	6,33	652	1,035E-03	675	9,050E-04
400	7,24	585	1,370E-03	545	1,555E-03
450	8,14	545	1,570E-03	461	1,975E-03

Tabela C.14. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa P2 - Bases de medida 2 e 6.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 2	Deformação específica	Base de medida 6	Deformação específica
0	0,00	857	0,000E+00	858	0,000E+00
25	0,45	847	5,000E-05	855	1,500E-05
50	0,90	839	9,000E-05	853	2,500E-05
75	1,36	832	1,250E-04	852	3,000E-05
100	1,81	827	1,500E-04	846	6,000E-05
125	2,26	817	2,000E-04	842	8,000E-05
150	2,71	810	2,350E-04	835	1,150E-04
175	3,17	800	2,850E-04	826	1,600E-04
200	3,62	790	3,350E-04	818	2,000E-04
250	4,52	765	4,600E-04	798	3,000E-04
300	5,43	739	5,900E-04	776	4,100E-04
350	6,33	703	7,700E-04	752	5,300E-04
400	7,24	652	1,025E-03	715	7,150E-04
450	8,14	607	1,250E-03	702	7,800E-04

Tabela C.15. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa P2 - Bases de medida 3 e 7.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 3	Deformação específica	Base de medida 7	Deformação específica
0	0,00	855	0,000E+00	861	0,000E+00
25	0,45	848	3,500E-05	857	2,000E-05
50	0,90	838	8,500E-05	852	4,500E-05
75	1,36	831	1,200E-04	847	7,000E-05
100	1,81	821	1,700E-04	842	9,500E-05
125	2,26	813	2,100E-04	834	1,350E-04
150	2,71	803	2,600E-04	823	1,900E-04
175	3,17	792	3,150E-04	815	2,300E-04
200	3,62	777	3,900E-04	802	2,950E-04
250	4,52	752	5,150E-04	775	4,300E-04
300	5,43	719	6,800E-04	742	5,950E-04
350	6,33	682	8,650E-04	698	8,150E-04
400	7,24	581	1,370E-03	643	1,090E-03
450	8,14	510	1,725E-03	589	1,360E-03

Tabela C.16. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa P2 - Bases de medida 4 e 8.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 4	Deformação específica	Base de medida 8	Deformação específica
0	0,00	853	0,000E+00	860	0,000E+00
25	0,45	844	4,500E-05	855	2,500E-05
50	0,90	832	1,050E-04	849	5,500E-05
75	1,36	822	1,550E-04	847	6,500E-05
100	1,81	815	1,900E-04	843	8,500E-05
125	2,26	806	2,350E-04	836	1,200E-04
150	2,71	794	2,950E-04	828	1,600E-04
175	3,17	785	3,400E-04	822	1,900E-04
200	3,62	772	4,050E-04	813	2,350E-04
250	4,52	743	5,500E-04	796	3,200E-04
300	5,43	711	7,100E-04	776	4,200E-04
350	6,33	671	9,100E-04	752	5,400E-04
400	7,24	618	1,175E-03	722	6,900E-04
450	8,14	600	1,265E-03	697	8,150E-04

Tabela C.17. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa P2 - média das bases de medida.

Tensão (MPa)	Deformação específica média
0,00	0,000E+00
0,45	3,438E-05
0,90	7,063E-05
1,36	9,938E-05
1,81	1,319E-04
2,26	1,731E-04
2,71	2,225E-04
3,17	2,700E-04
3,62	3,288E-04
4,52	4,600E-04
5,43	6,100E-04
6,33	7,963E-04
7,24	1,124E-03
8,14	1,343E-03

Tabela C.18. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa P5 - Bases de medida 1 e 2.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 1	Deformação específica	Base de medida 5	Deformação específica
0	0,00	858	0,000E+00	854	0,000E+00
25	0,45	852	3,000E-05	846	4,000E-05
50	0,90	842	8,000E-05	838	8,000E-05
75	1,36	835	1,150E-04	829	1,250E-04
100	1,81	823	1,750E-04	819	1,750E-04
125	2,26	817	2,050E-04	806	2,400E-04
150	2,71	806	2,600E-04	798	2,800E-04
175	3,17	791	3,350E-04	784	3,500E-04
200	3,62	780	3,900E-04	771	4,150E-04
225		776	4,100E-04	757	4,850E-04
250	4,52	751	5,350E-04	741	5,650E-04
300	5,43	695	8,150E-04	676	8,900E-04
350	6,33	664	9,700E-04	637	1,085E-03
400	7,24	613	1,225E-03	602	1,260E-03

Tabela C.19. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa P5 - Bases de medida 2 e 6.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 2	Deformação específica	Base de medida 6	Deformação específica
0	0,00	852	0,000E+00	869	0,000E+00
25	0,45	846	3,000E-05	863	3,000E-05
50	0,90	840	6,000E-05	855	7,000E-05
75	1,36	831	1,050E-04	847	1,100E-04
100	1,81	827	1,250E-04	839	1,500E-04
125	2,26	822	1,500E-04	827	2,100E-04
150	2,71	814	1,900E-04	813	2,800E-04
175	3,17	806	2,300E-04	801	3,400E-04
200	3,62	797	2,750E-04	790	3,950E-04
225	4,07	788	3,200E-04	775	4,700E-04
250	4,52	777	3,750E-04	763	5,300E-04
300	5,43	742	5,500E-04	638	1,155E-03
350	6,33	716	6,800E-04	563	1,530E-03
400	7,24	685	8,350E-04	468	2,005E-03

Tabela C.20. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa P5 - Bases de medida 3 e 7.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 3	Deformação específica	Base de medida 7	Deformação específica
0	0,00	854	0,000E+00	855	0,000E+00
25	0,45	848	3,000E-05	850	2,500E-05
50	0,90	840	7,000E-05	847	4,000E-05
75	1,36	827	1,350E-04	840	7,500E-05
100	1,81	819	1,750E-04	835	1,000E-04
125	2,26	807	2,350E-04	824	1,550E-04
150	2,71	796	2,900E-04	817	1,900E-04
175	3,17	783	3,550E-04	808	2,350E-04
200	3,62	768	4,300E-04	795	3,000E-04
250	4,52	757	4,850E-04	784	3,550E-04
300	5,43	742	5,600E-04	773	4,100E-04
350	6,33	661	9,650E-04	740	5,750E-04
400	7,24	622	1,160E-03	710	7,250E-04
450	8,14	568	1,430E-03	674	9,050E-04

Tabela C.21. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa P5 - Bases de medida 4 e 8.

Carga (KN)	Tensão (MPa)	Base de medida 4	Deformação específica	Base de medida 8	Deformação específica
0	0,00	860	0,000E+00	857	0,000E+00
25	0,45	847	6,500E-05	851	3,000E-05
50	0,90	839	1,050E-04	849	4,000E-05
75	1,36	831	1,450E-04	843	7,000E-05
100	1,81	819	2,050E-04	838	9,500E-05
125	2,26	811	2,450E-04	831	1,300E-04
150	2,71	798	3,100E-04	823	1,700E-04
175	3,17	788	3,600E-04	814	2,150E-04
200	3,62	774	4,300E-04	804	2,650E-04
225	4,07	764	4,800E-04	796	3,050E-04
250	4,52	725	6,750E-04	782	3,750E-04
300	5,43	661	9,950E-04	746	5,550E-04
350	6,33	625	1,175E-03	716	7,050E-04
400	7,24	575	1,425E-03	669	9,400E-04

Tabela C.22. Curva tensão x deformação axial de prismas com a argamassa P5 - média das bases de medida.

Tensão (MPa)	Deformação específica média
0,00	0,000E+00
0,45	3,500E-05
0,90	6,813E-05
1,36	1,100E-04
1,81	1,500E-04
2,26	1,963E-04
2,71	2,463E-04
3,17	3,025E-04
3,62	3,625E-04
4,07	4,025E-04
4,52	4,538E-04
5,43	6,788E-04
6,33	9,194E-04
7,24	1,136E-03